

"Express Mail" mailing label number EV 327 134 830 US
Date of Deposit 9/5/03

Our File No. 9281-4639
Client Reference No. N US02095

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:)
)
Naoya Hasegawa et al.)
)
Serial No. To Be Assigned)
)
Filing Date: Herewith)
)
For: Magnetic Detecting Element)
)

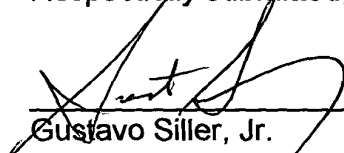
SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT

Mail Stop Patent Application
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Transmitted herewith is a certified copy of priority document Japanese Patent Application Nos. 2002-282211 filed on September 27, 2002 for the above-named U.S. application.

Respectfully submitted,



Gustavo Siller, Jr.
Registration No. 32,305
Attorney for Applicants
Customer Number 00757

BRINKS HOFER GILSON & LIONE
P.O. BOX 10395
CHICAGO, ILLINOIS 60610
(312) 321-4200

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 9月27日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-282211

[ST.10/C]:

[JP2002-282211]

出 願 人

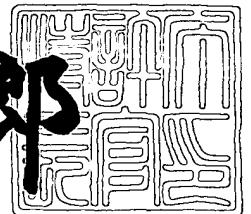
Applicant(s):

アルプス電気株式会社

2003年 3月24日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3019694

【書類名】 特許願

【整理番号】 021195AL

【提出日】 平成14年 9月27日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 43/08
G11B 5/39

【発明の名称】 磁気検出素子及びその製造方法

【請求項の数】 22

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社
社内

【氏名】 長谷川 直也

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社
社内

【氏名】 梅津 英治

【特許出願人】

【識別番号】 000010098

【氏名又は名称】 アルプス電気株式会社

【代表者】 片岡 政隆

【代理人】

【識別番号】 100085453

【弁理士】

【氏名又は名称】 野▲崎▼ 照夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100121049

【弁理士】

【氏名又は名称】 三輪 正義

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 041070

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気検出素子及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 下から順に、第 1 反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及びフリー磁性層を有して積層された多層膜と電極層を有する磁気検出素子において、

前記フリー磁性層の上に非磁性中間層が積層され、この非磁性中間層の素子両側端部上に、トラック幅方向に間隔をおいて一对の第 1 強磁性層が積層されており、前記第 1 強磁性層上に一对の第 2 反強磁性層及び一对の第 2 強磁性層が順に積層され、前記第 2 強磁性層の磁化方向は、前記第 1 強磁性層の磁化方向に対して反平行方向であることを特徴とする磁気検出素子。

【請求項 2】 一对の前記第 2 反強磁性層のトラック幅方向間隔は、一对の前記第 1 強磁性層間のトラック幅方向間隔よりも広く、前記素子両側端部内で、前記第 1 強磁性層が前記第 2 反強磁性層のトラック幅方向における内側端面よりもトラック幅方向の中心方向に延出し、前記電極層が前記第 2 反強磁性層上から前記延出形成された前記第 1 強磁性層上にかけて形成されている請求項 1 記載の磁気検出素子。

【請求項 3】 前記第 2 強磁性層は前記第 2 反強磁性層の上から前記延出形成された前記第 1 強磁性層の上にかけて形成されている請求項 2 記載の磁気検出素子。

【請求項 4】 前記第 2 強磁性層は前記第 2 反強磁性層の上にのみ形成されている請求項 2 記載の磁気検出素子。

【請求項 5】 前記第 2 強磁性層は軟磁性材料によって形成されたものであって、前記第 2 反強磁性層の上面に直接積層されている請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 6】 前記フリー磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントが、前記第 1 強磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントより大きい請求項 5 に記載の磁気検出素子。

【請求項 7】 前記第 2 強磁性層は硬磁性材料によって形成されたものであ

って、前記第 2 反強磁性層の上に、非磁性層を介して積層されている請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 8】 前記第 2 強磁性層は軟磁性材料によって形成されたものであって、前記第 2 反強磁性層の上に非磁性層を介して積層され、第 3 反強磁性層が前記第 2 強磁性層の上面に直接積層されている請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 9】 前記第 1 反強磁性層、前記第 2 反強磁性層、及び前記第 3 反強磁性層が同じ反強磁性材料によって形成されている請求項 8 記載の磁気検出素子。

【請求項 10】 前記第 3 反強磁性層を形成する反強磁性材料のブロッキング温度は、前記第 1 反強磁性層、前記第 2 反強磁性層を形成する反強磁性材料のブロッキング温度より低い請求項 8 記載の磁気検出素子。

【請求項 11】 前記フリー磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントが、前記第 1 強磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントより大きい請求項 7 ないし 10 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 12】 前記フリー磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントが、前記第 1 強磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントより小さい請求項 7 ないし 10 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 13】 前記第 2 反強磁性層の内側端面の下縁部から、前記第 2 反強磁性層の膜厚よりも薄い膜厚の内側先端部が、前記延出形成された前記第 1 強磁性層上にまで延びて形成されている請求項 1 ないし 12 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 14】 前記電極層が前記多層膜の膜厚方向の上下に設けられる請求項 1 ないし 13 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 15】 以下の工程を有することを特徴とする磁気検出素子の製造方法。

(a) 基板上に、下から順に第 1 反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及びフリー磁性層、非磁性中間層、及び第 1 強磁性層を有する多層膜を、前記フリー磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントが、前記第 1 強磁性層の単位面積当たり

の磁気モーメントより大きくなるように積層形成する工程と、

(b) 第 1 の磁場中アニールを施して、前記第 1 反強磁性層と前記固定磁性層の界面に交換結合磁界を発生させる工程と、

(c) 前記多層膜の上面のトラック幅方向の両側に第 2 反強磁性層及び第 2 強磁性層を積層する工程と、

(d) 前記第 1 の磁場中アニールの磁界の方向と交叉する方向の磁界中で、第 2 の磁場中アニールを施して、前記第 2 反強磁性層と前記第 1 強磁性層の界面に交換結合磁界を発生させる工程と、

(e) 電極層を形成する工程、

【請求項 1 6】 前記 (c) 工程において、前記第 2 強磁性層を、軟磁性材料を用いて、前記第 2 反強磁性層の上面に直に積層形成する請求項 1 5 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 1 7】 前記 (c) 工程において、前記第 2 反強磁性層上に非磁性層を積層し、この非磁性層の上に、硬磁性材料を用いて前記第 2 強磁性層を積層形成する請求項 1 5 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 1 8】 前記 (c) 工程において、前記第 2 反強磁性層上に非磁性層を積層し、この非磁性層の上に軟磁性材料からなる前記第 2 強磁性層を積層した後、連続して第 3 反強磁性層を積層する請求項 1 5 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 1 9】 前記第 1 反強磁性層、前記第 2 反強磁性層、及び前記第 3 反強磁性層が同じ反強磁性材料によって形成されている請求項 1 8 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 2 0】 前記第 3 反強磁性層を形成する反強磁性材料のブロッキング温度は、前記第 1 反強磁性層、前記第 2 反強磁性層を形成する反強磁性材料のブロッキング温度より低い請求項 1 8 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 2 1】 前記 (e) 工程において、

前記多層膜上から前記第 2 反強磁性層上または前記第 3 反強磁性層上にかけて電極層を形成し、前記電極層上に、前記第 2 反強磁性層間のトラック幅方向における間隔よりも間隔の狭いマスク層を形成し、前記マスク層に覆われていない前

記電極層を削った後、

(f) さらに前記電極層を削ったことで露出した前記第 1 強磁性層を削り、これにより前記第 1 強磁性層を前記フリー磁性層の素子両側端部上に非磁性中間層を介して、且つ前記第 1 強磁性層を、前記第 2 反強磁性層のトラック幅方向における内側端面よりもトラック幅方向の中心方向に延出して残し、さらに電極層を前記第 2 反強磁性層上から前記延出形成された前記第 1 強磁性層上にかけて残す工程を有する請求項 1 5 ないし 2 0 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 2 2】 前記 (e) 工程で、電極層を前記多層膜の膜厚方向の上下に設ける請求項 1 5 ないし 2 0 のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、エキスチェンジバイアス方式によってフリー磁性層の磁化制御を行う磁気検出素子に係り、特に狭トラック化においても再生出力を安定化でき、サイドリーディングの発生を抑制することが可能な磁気検出素子及びその製造方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

図 2 9 は従来の磁気検出素子（スピントラップ型薄膜素子）を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0 0 0 3】

符号 1 は Pt Mn などの第 1 反強磁性層であり、第 1 反強磁性層 1 の上に Ni Fe 合金などで形成された固定磁性層 2、Cu など形成された非磁性材料層 3、および Ni Fe 合金などで形成されたフリー磁性層 4、Ru など形成された非磁性中間層 5 が積層形成されている。

【0 0 0 4】

図 2 9 に示すように非磁性中間層 5 の上にはトラック幅方向（図示 X 方向）にトラック幅 Tw を開けて強磁性層 6、6 及び第 2 反強磁性層 7、7 が形成され、その上に電極層 8、8 が形成されている。

【0 0 0 5】

図 2 9 に示されたような磁気検出素子は、特許文献 1 及び特許文献 2 に記載されている。

【0 0 0 6】

図 2 9 に示す実施形態では、第 2 反強磁性層 7，7 と強磁性層 6，6 の界面に交換結合磁界が発生して、強磁性層 6，6 の磁化が図示 X と反平行方向に固定される。そして、強磁性層 6，6 とフリー磁性層 4 の素子両側端部間には、非磁性中間層 5 を介した R K K Y 相互作用が作用して、素子両側端部のフリー磁性層 4 は図示 X 方向に磁化固定される。なお、素子中央部のフリー磁性層 4 は外部磁界に対し磁化反転できる程度に弱く単磁区化されている。

【0 0 0 7】

このようにしてフリー磁性層 4 の磁化制御を行う方法をエクステンジバース方式と呼ぶ。特に、図 2 9 に示される磁気検出素子では、素子両側端部において、フリー磁性層 4 と強磁性層 6，6 が人工フェリ状態になるので、素子両側端部においてフリー磁性層 4 の磁化を確実に固定して、単磁区状態を維持することができると考えられていた。

【0 0 0 8】

従って、図 2 9 に示される磁気検出素子であれば、ヒステリシスを小さくし、バルクハウゼンノイズを少なくできるものと期待された。

【0 0 0 9】

【特許文献 1】

特開 2 0 0 1 - 1 5 5 3 1 3 号公報（第 1 2 - 1 3 頁、第 1 図）

【特許文献 2】

特開 2 0 0 1 - 3 3 9 1 1 1 号公報（第 1 0 頁、第 1 図）

【0 0 1 0】

【発明が解決しようとする課題】

図 2 9 に示される磁気検出素子では、強磁性層 6，6 に内側端面 6 a，6 a が存在しているため、内側端面 6 a，6 a に形成された表面磁荷によって静磁界が発生する。

【0011】

この静磁界の方向は図29の矢印方向である。すなわち、フリー磁性層4の磁化方向と逆向きになり、フリー磁性層4の磁化が乱される。

【0012】

このため、図29のように強磁性層6，6を形成しても、ヒステリシスを小さくすることができず、またバルクハウゼンノイズも発生しやすいままであり、さらなる改良が求められていた。

【0013】

そこで本発明は、上記の課題を解決するためになされたものであって、フリー磁性層を安定した単磁区状態に維持することができ、ヒステリシスが小さく、またバルクハウゼンノイズが発生しにくい磁気検出素子及びその製造方法を提供することを目的としている。

【0014】

【課題を解決するための手段】

本発明は、下から順に、第1反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及びフリー磁性層を有して積層された多層膜と電極層を有する磁気検出素子において、

前記フリー磁性層の上に非磁性中間層が積層され、この非磁性中間層の素子両側端部上に、トラック幅方向に間隔をおいて一对の第1強磁性層が積層されており、前記第1強磁性層上に一对の第2反強磁性層及び一对の第2強磁性層が順に積層され、前記第2強磁性層の磁化方向は、前記第1強磁性層の磁化方向に対して反平行方向であることを特徴とするものである。

【0015】

本発明では、素子両側端部において、前記フリー磁性層と前記第1強磁性層が非磁性中間層を介して互いに磁化方向が反平行方向になるように磁氣的に結合する、いわゆる人工フェリ構造である。

【0016】

前記第1強磁性層の磁化は第2反強磁性層との交換結合磁界によって固定されており、さらに、素子両側端部における上記人工フェリ構造によって、前記フリー磁性層の素子両側端部の磁化が確実に固定される。

【0017】

従って、前記フリー磁性層の素子両側端部の磁化が外部磁界によって変動するサイドリーディングを防止することができる。

【0018】

さらに、前記第1強磁性層の内側端面に形成された表面磁荷によって静磁界が発生しても、前記第2反強磁性層の上に積層された前記第2強磁性層の磁化方向が前記第1強磁性層の磁化方向に対して反平行方向であるため、前記静磁界は前記第2強磁性層に吸い込まれる。

【0019】

従って、前記第1強磁性層から発生する静磁界が、前記フリー磁性層の素子中央部に入りこみにくくなる。その結果、前記フリー磁性層は安定した単磁区化状態を維持できるようになり、ヒステリシスを小さくし、バルクハウゼンノイズの発生を抑えることができる。

【0020】

なお、本発明では、一对の前記第2反強磁性層のトラック幅方向間隔が、一对の前記第1強磁性層間のトラック幅方向間隔よりも広く、前記素子両側端部内で、前記第1強磁性層が前記第2反強磁性層のトラック幅方向における内側端面よりもトラック幅方向の中心方向に延出し、前記電極層が前記第2反強磁性層上から前記延出形成された前記第1強磁性層上にかけて形成されていることが好ましい。

【0021】

前述のように、前記フリー磁性層の素子両側端部は、前記非磁性中間層を介した第1強磁性層とのRKKY相互作用によって磁化が固定されており、前記フリー磁性層内部の交換相互作用により、フリー磁性層の素子中央部も単磁区化される。前記フリー磁性層の素子中央部にかかるバイアス磁界は、素子両側端部との境界付近で強く働き、トラック幅 T_w が小さくなるほど、前記フリー磁性層の素子中央部全体にバイアス磁界が強く働きやすくなる。

【0022】

強いバイアス磁界を受けた前記フリー磁性層の素子中央部は、素子両側端部は

ど強く磁化固定されないものの外部磁界に対し感度良く磁化反転しにくくなり、強くバイアス磁界を受けた領域が不感領域となりやすく、この結果、狭トラック化を進めるほど再生出力が低下しやすくなる。

【 0 0 2 3 】

上記した本発明の磁気検出素子では、第2反強磁性層間のトラック幅方向への間隔を第1強磁性層間の間隔で規制されるトラック幅 T_w よりも広げることができるので、素子中央部の不感領域を減少させることができ、再生出力の向上を図ることが可能になる。

【 0 0 2 4 】

また、前記素子両側端部内で、前記第1強磁性層が前記第2反強磁性層のトラック幅方向における内側端面よりもトラック幅方向の中心方向に延出している。

【 0 0 2 5 】

第2反強磁性層の内側端面よりもトラック幅方向の中心方向に延出形成された第1強磁性層の部分は、その下に非磁性中間層を介してフリー磁性層が形成された、いわゆる人工フェリ構造となっており、第1強磁性層とフリー磁性層間にRKKY相互作用による交換結合が作用する結果、外部磁界に対する感度をより効果的に鈍化させることができ、この部分に外部磁界が及んでも効果的に磁化反転しにくくできるため、実効再生トラック幅の広がりを抑え、サイドリーディングの発生を抑制することが可能になる。

【 0 0 2 6 】

さらに電極層は、第2反強磁性層の内側端面よりもトラック幅方向の中心方向へ延出形成された第1強磁性層上にまでオーバーラップして形成されているため、電極層からのセンス電流は、第2反強磁性層や延出形成された第1強磁性層下にある多層膜全体に分流しにくくなり、最短距離でフリー磁性層及びその下の素子中央部に流れる。

【 0 0 2 7 】

本発明では、前記第2強磁性層は前記第2反強磁性層の上から前記第1強磁性層の上にかけて形成されていることが好ましい。前記第2強磁性層が前記第1強磁性層の上にかけて形成されると、前記第2強磁性層が前記第1強磁性層の膜厚

方向の距離が小さくなり、前記第 2 強磁性層と前記第 1 強磁性層間の静磁結合が強くなるので、前記第 1 強磁性層から発生する静磁界がフリー磁性層に入り込むことを効果的に抑制できる。なお、前記第 2 強磁性層が前記第 1 強磁性層の上に形成されるとは、前記第 2 強磁性層と前記第 1 強磁性層が重なっている状態を差し、前記第 2 強磁性層と前記第 1 強磁性層が直接接触することを意味するものではない。

【 0 0 2 8 】

ただし、前記第 2 強磁性層が前記第 2 反強磁性層の上にのみ形成されていても、前記第 2 強磁性層と前記第 1 強磁性層間に静磁結合を発生させることは可能であり、前記第 1 強磁性層から発生する静磁界がフリー磁性層に入り込むことを抑制する効果は得られる。

【 0 0 2 9 】

本発明では、例えば、前記第 2 強磁性層は軟磁性材料によって形成されたものであって、前記第 2 反強磁性層の上面に直接積層されているものにできる。

【 0 0 3 0 】

この磁気検出素子では、前記第 2 強磁性層と前記第 2 反強磁性層の界面に交換結合磁界が発生することによって、前記第 2 強磁性層の磁化方向が前記第 1 強磁性層の磁化方向に対して反平行方向になる。すなわち、前記第 1 強磁性層と前記第 2 強磁性層の双方が、前記第 2 反強磁性層との間の交換結合磁界によって磁化を固定され、しかも、それぞれの磁化方向が互いに反平行方向になっている。

【 0 0 3 1 】

前記第 2 反強磁性層の下面側に前記第 1 強磁性層が積層され、前記第 2 反強磁性層の上面側に前記第 2 強磁性層が積層される構造で、前記第 1 強磁性層と前記第 2 強磁性層のそれぞれの磁化方向を互いに反平行方向に固定するためには、前記フリー磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントが、前記第 1 強磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントより大きくなっている必要がある。

【 0 0 3 2 】

前記第 1 強磁性層と前記フリー磁性層を、飽和磁化 M_s が同じであるか、ほとんど等しい磁性材料を用いて形成すると、前記フリー磁性層の膜厚が前記第 1 強

磁性層の膜厚より大きければ、前記フリー磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントが、前記第 1 強磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントより大きくなる。

【 0 0 3 3 】

あるいは、本発明における磁気検出素子の前記第 2 強磁性層は、硬磁性材料によって形成されたものであって、前記第 2 反強磁性層の上に、非磁性層を介して積層されているものであってもよい。

【 0 0 3 4 】

または、本発明における磁気検出素子の前記第 2 強磁性層は、軟磁性材料によって形成されたものであって、前記第 2 反強磁性層の上に非磁性層を介して積層され、第 3 反強磁性層が前記第 2 強磁性層の上面に直接積層されているものであってもよい。

【 0 0 3 5 】

この磁気検出素子では、前記第 2 強磁性層と前記第 3 反強磁性層の界面に交換結合磁界が発生することによって、前記第 2 強磁性層の磁化方向が前記第 1 強磁性層の磁化方向に対して反平行方向になる。

【 0 0 3 6 】

本発明では、前記第 1 反強磁性層、前記第 2 反強磁性層、及び前記第 3 反強磁性層が同じ反強磁性材料によって形成されても、前記固定磁性層の磁化が前記フリー磁性層の磁化と交叉し、前記フリー磁性層の磁化と前記第 1 強磁性層の磁化が反平行方向を向き、前記第 1 強磁性層の磁化と前記第 2 強磁性層の磁化が反平行方向を向いている磁気検出素子を確実に形成することができる。

【 0 0 3 7 】

あるいは、前記第 3 反強磁性層を形成する反強磁性材料のブロッキング温度が、前記第 1 反強磁性層、前記第 2 反強磁性層を形成する反強磁性材料のブロッキング温度より低くなるように材料の選択をしてもよい。

【 0 0 3 8 】

なお、第 2 強磁性層が硬磁性材料からなるものであるときや、第 3 反強磁性層との間の交換結合磁界によって磁化が固定されるものであるときには、前記フリー磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントは、前記第 1 強磁性層の単位面積当

たりの磁気モーメントより大きくてもよいし、前記第 1 強磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントより小さくてもよい。

【 0 0 3 9 】

なお、本発明では、前記第 2 反強磁性層の内側端面の下縁部から、前記第 2 反強磁性層の膜厚よりも薄い膜厚の内側先端部が、前記延出形成された前記第 1 強磁性層上にまで延びて形成されているものであってもよい。ただし、前記内側先端部の膜厚は、反強磁性を発揮しない膜厚であることが好ましい。具体的には、前記内側先端部の膜厚は 5 0 Å 以下あるいは 3 0 Å 以下であることが好ましい。

【 0 0 4 0 】

また、前記電極層が多層膜の膜厚方向の上下に設けられる形態であってもよい。この形態の磁気検出素子は、C P P (current perpendicular to the plane) 型と呼ばれる。

【 0 0 4 1 】

本発明の磁気検出素子の製造方法は、以下の工程を有することを特徴とするものである。

(a) 基板上に、下から順に第 1 反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及びフリー磁性層、非磁性中間層、及び第 1 強磁性層を有する多層膜を、前記フリー磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントが、前記第 1 強磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントより大きくなるように積層形成する工程と、

(b) 第 1 の磁場中アニールを施して、前記第 1 反強磁性層と前記固定磁性層の界面に交換結合磁界を発生させる工程と、

(c) 前記多層膜の上面のトラック幅方向の両側に第 2 反強磁性層及び第 2 強磁性層を積層する工程と、

(d) 前記第 1 の磁場中アニールの磁界の方向と交叉する方向の磁界中で、第 2 の磁場中アニールを施して、前記第 2 反強磁性層と前記第 1 強磁性層の界面に交換結合磁界を発生させる工程と、

(e) 電極層を形成する工程、

本発明の磁気検出素子の製造方法では、前記 (a) 工程において、前記フリー磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントが、前記第 1 強磁性層の単位面積当た

りの磁気モーメントより大きくなるように前記多層膜を積層形成している。

【 0 0 4 2 】

これによって、前記（d）工程の第2の磁場中アニールを施すだけで、前記第1強磁性層の磁化と前記第2強磁性層の磁化が反平行方向を向くように、前記第1強磁性層の磁化と前記第2強磁性層の磁化を固定することができる。

【 0 0 4 3 】

本発明では、例えば、前記（c）工程において、前記第2強磁性層を、軟磁性材料を用いて、前記第2反強磁性層の上面に直に積層形成することができる。

【 0 0 4 4 】

この製造方法では、前記第2強磁性層と前記第2反強磁性層の界面に交換結合磁界が発生することによって、前記第2強磁性層の磁化方向が前記第1強磁性層の磁化方向に対して反平行方向になる。すなわち、前記第1強磁性層と前記第2強磁性層の双方が、前記第2反強磁性層との間の交換結合磁界によって磁化を固定され、しかも、それぞれの磁化方向が互いに反平行方向になっている。

【 0 0 4 5 】

または、前記（c）工程において、前記第2反強磁性層上に非磁性層を積層し、この非磁性層の上に、硬磁性材料を用いて前記第2強磁性層を積層形成してもよい。硬磁性材料からなる前記第2強磁性層は、前記（d）工程の後で、前記第1強磁性層の磁化方向に対して反平行方向の磁界中で着磁される。

【 0 0 4 6 】

あるいは、前記（c）工程において、前記第2反強磁性層上に非磁性層を積層し、この非磁性層の上に軟磁性材料からなる前記第2強磁性層を積層した後、連続して第3反強磁性層を積層してもよい。

【 0 0 4 7 】

この製造方法では、前記第2強磁性層と前記第3反強磁性層の界面に交換結合磁界が発生することによって、前記第2強磁性層の磁化方向が前記第1強磁性層の磁化方向に対して反平行方向になる。

【 0 0 4 8 】

本発明では、第1の磁場中アニールと第2の磁場中アニールの熱処理温度と磁

界の強さを調節することで、前記第 1 反強磁性層、前記第 2 反強磁性層、及び前記第 3 反強磁性層を同じ反強磁性材料によって形成しても、前記フリー磁性層の磁化を前記固定磁性層の磁化と交叉させ、前記フリー磁性層の磁化と前記第 1 強磁性層の磁化を反平行方向にし、前記第 1 強磁性層の磁化と前記第 2 強磁性層の磁化を反平行方向にすることができる。

【 0 0 4 9 】

あるいは、前記第 3 反強磁性層を形成する反強磁性材料のブロッキング温度を、前記第 1 反強磁性層、前記第 2 反強磁性層を形成する反強磁性材料のブロッキング温度より低くなるように材料の選択をしてもよい。この場合も、第 1 の磁場中アニールと第 2 の磁場中アニールの熱処理温度と磁界の強さを調節することで、前記フリー磁性層の磁化を前記固定磁性層の磁化と交叉させ、前記フリー磁性層の磁化と前記第 1 強磁性層の磁化を反平行方向にし、前記第 1 強磁性層の磁化と前記第 2 強磁性層の磁化を反平行方向にすることができる。

【 0 0 5 0 】

なお、本発明では、前記 (e) 工程において、

前記多層膜上から前記第 2 反強磁性層上または前記第 3 反強磁性層上にかけて電極層を形成し、前記電極層上に、前記第 2 反強磁性層間のトラック幅方向における間隔よりも間隔の狭いマスク層を形成し、前記マスク層に覆われていない前記電極層を削った後、

(f) さらに前記電極層を削ったことで露出した前記第 1 強磁性層を削り、これにより前記第 1 強磁性層を前記フリー磁性層の素子両側端部上に非磁性中間層を介して、且つ前記第 1 強磁性層を、前記第 2 反強磁性層のトラック幅方向における内側端面よりもトラック幅方向の中心方向に延出して残し、さらに電極層を前記第 2 反強磁性層上から前記延出形成された前記第 1 強磁性層上にかけて残す工程を有することが好ましい。

【 0 0 5 1 】

この (e) 工程及び (f) 工程によって、第 1 強磁性層のトラック幅方向の間隔で規制されるトラック幅 T_w よりも第 2 反強磁性層のトラック幅方向への間隔を広げて形成でき、しかも第 2 反強磁性層よりもトラック幅方向の中心方向に延

出形成された第1強磁性層上にまで電極層をオーバーラップして形成することができ、さらにフリー磁性層の素子中央部を除いてフリー磁性層の素子両側端部のみに、非磁性中間層を介して第1強磁性層が形成された人工フェリ構造を容易に且つ適切に形成できる。

【0052】

また、前記(e)工程で、前記電極層を前記多層膜の膜厚方向の上下に設けることによってCPP (current perpendicular to the plane) 型の磁気検出素子を形成することができる。

【0053】

【発明の実施の形態】

図1は本発明における磁気検出素子(スピバルブ型薄膜素子)の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【0054】

符号20は基板である。基板20上には、NiFe合金、NiFeCr合金あるいはCrなどで形成されたシードレイヤ21が形成されている。シードレイヤ21は、例えば $(\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2})_{60\text{at}\%}\text{Cr}_{40\text{at}\%}$ の膜厚60Åで形成される。

【0055】

シードレイヤ21の上には第1反強磁性層22が形成されている。第1反強磁性層22は、PtMn合金、または、X-Mn(ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である)合金で、あるいはPt-Mn-X'(ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である)合金で形成される。

【0056】

第1反強磁性層22として、これらの合金を使用し、これを熱処理することにより、大きな交換結合磁界を発生する第1反強磁性層22及び固定磁性層23の交換結合膜を得ることができる。特に、PtMn合金であれば、48kA/m以上、例えば64kA/mを越える交換結合磁界を有し、交換結合磁界を失うブロッキング温度が380℃と極めて高い優れた第1反強磁性層22及び固定磁性層

23の交換結合膜を得ることができる。

【0057】

これらの合金は、成膜直後の状態では、不規則系の面心立方構造（f c c）であるが、熱処理によってC u A u I型の規則型の面心正方構造（f c t）に構造変態する。

【0058】

第1反強磁性層22の膜厚は、トラック幅方向の中心付近において80～300Åである。

【0059】

第1反強磁性層22の上には、固定磁性層23が形成されている。固定磁性層23は人工フェリ構造である。固定磁性層23は磁性層24、26とその間に介在する非磁性中間層25の3層構造である。

【0060】

磁性層24、26は、例えばN i F e合金、C o、C o N i F e合金、C o F e合金、C o N i合金などの磁性材料で形成される。磁性層24と磁性層26は、同一の材料で形成されることが好ましい。

【0061】

また、非磁性中間層25は、非磁性材料により形成されるもので、R u、R h、I r、C r、R e、C uのうち1種またはこれらの2種以上の合金で形成されている。特にR uによって形成されることが好ましい。

【0062】

固定磁性層23の上には、非磁性材料層27が形成されている。非磁性材料層27は、固定磁性層23とフリー磁性層28との磁気的な結合を防止し、またセンス電流が主に流れる層であり、C u、C r、A u、A gなど導電性を有する非磁性材料により形成されることが好ましい。特にC uによって形成されることが好ましい。

【0063】

非磁性材料層27の上にはフリー磁性層28が形成されている。図1に示す実施形態ではフリー磁性層28上の全面に非磁性中間層29が形成されている。フ

リー磁性層 28 は、NiFe 合金、CoFe 合金、CoFeNi 合金、あるいは Co 等の磁性材料で形成される。図 1 に示す実施形態ではフリー磁性層 28 と非磁性材料層 27 との間に Co や CoFe などからなる拡散防止層（図示しない）が形成されていてもよい。

【0064】

図 1 に示す実施形態では、フリー磁性層 28 の素子両側端部上に非磁性中間層 29 を介して第 1 強磁性層 30 が形成されている。第 1 強磁性層 30 は NiFe 合金、CoFe 合金、CoFeNi 合金、あるいは Co 等フリー磁性層 28 と同じ磁性材料で形成されることが好ましい。

【0065】

なお以下では基板 20 から第 1 強磁性層 30 までの積層体を多層膜 40 と呼ぶ。

【0066】

第 1 強磁性層 30 上には第 2 反強磁性層 31 が形成される。第 2 反強磁性層 31 は、第 1 反強磁性層 22 と同様に、PtMn 合金、または、X-Mn（ただし X は、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Fe のいずれか 1 種または 2 種以上の元素である）合金で、あるいは Pt-Mn-X'（ただし X' は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Kr のいずれか 1 または 2 種以上の元素である）合金で形成される。

【0067】

また図 1 のように第 2 反強磁性層 31 内には、図面上点線が記載され、点線よりも上側に符号 31c、下側に符号 31d が記載されているが、これは後述する製造方法によれば第 2 反強磁性層 31 を 2 層に分けて形成したことを意味する。なお完成した第 2 反強磁性層 31 には符号 31c と 31d 間に明確な境界線が現われているわけではない。

【0068】

図 1 に示す実施形態では、素子両側端部のうち素子中央部に近い領域 B（以下、単に領域 B と呼ぶ）の第 1 強磁性層 30 上に形成された第 2 反強磁性層 31 よりも、素子両側端部のうち素子中央部から遠い領域 A（以下、単に領域 A と呼ぶ）

) の第 1 強磁性層 3 0 上に形成された第 2 反強磁性層 3 1 の方が膜厚が厚くなっている。なお以下では、領域 B 上に形成された第 2 反強磁性層 3 1 を第 2 反強磁性層 3 1 の内側先端部 3 1 a と呼ぶ。

【 0 0 6 9 】

図 1 に示すように、領域 A 上に形成された第 2 反強磁性層 3 1 の内側端面 3 1 b は、第 2 反強磁性層 3 1 間のトラック幅方向への間隔 C が、下方から上方に向う（図示 Z 方向に向う）にしたがって徐々に広がる傾斜面あるいは湾曲面で形成される。領域 A 上の第 2 反強磁性層 3 1 の上面 3 1 e には、軟磁性材料からなる第 2 強磁性層 3 2 が積層されている。第 2 強磁性層 3 2 は、例えば CoFe、NiFe、CoFeNi 合金、Co からなる。

【 0 0 7 0 】

第 2 強磁性層 3 2 上には、例えば Cr など形成された第 1 ストップバ層 3 3 が形成され、第 1 ストップバ層 3 3 の上に Ta など形成された第 1 保護層 3 4 が形成される。第 1 保護層 3 4 の内側端面 3 4 a は、第 2 反強磁性層 3 1 の内側端面 3 1 b と同じ連続面で形成される。

【 0 0 7 1 】

図 1 に示す実施形態では第 1 保護層 3 4 上から第 1 保護層 3 4 及び第 2 反強磁性層 3 1 の内側端面 3 4 a、3 1 b 上、さらに第 2 反強磁性層 3 1 の内側先端部 3 1 a 上にかけて Cr など形成された第 2 ストップバ層 3 5 が形成され、第 2 ストップバ層 3 5 上に Ta など形成された第 2 保護層 3 6 が形成される。

【 0 0 7 2 】

図 1 に示す実施形態では、第 2 保護層 3 6 の上に電極層 3 7 が形成される。電極層 3 7 は Au や Cr、Rh、Ru、Ta、W などの非磁性導電材料で形成される。

【 0 0 7 3 】

電極層 3 7 は、領域 A の第 2 反強磁性層 3 1 上のみならず、領域 B の第 1 強磁性層 3 0 上に第 2 反強磁性層 3 1 の内側先端部 3 1 a、第 2 ストップバ層 3 5 及び第 2 保護層 3 6 を介してオーバーラップ形成される。

【 0 0 7 4 】

電極層 3 7 の内側端面 3 7 a は、第 1 強磁性層 3 0、第 2 反強磁性層 3 1 の内側先端部 3 1 a、第 2 ストップ層 3 5 及び第 2 保護層 3 6 の内側端面からつながる連続面として形成され、図 1 に示す実施形態では、電極層 3 7 の内側端面 3 7 a は下方から上方に向けて（図示 Z 方向に向けて）徐々に電極層 3 7 間のトラック幅方向への間隔が広がる傾斜面あるいは湾曲面で形成される。ただし、電極層 3 7 の内側端面 3 7 a は基板 2 0 表面に対し垂直方向（図示 Z 方向）と平行な方向に形成されていてもよい。

【 0 0 7 5 】

電極層 3 7 上には T a など形成された第 3 保護層 3 8 が形成され、また第 3 保護層 3 8 上から電極層 3 7 の内側端面 3 7 a 上、さらには第 1 強磁性層 3 0 間の間隔 D 内に露出した非磁性中間層 2 9 上にかけて第 4 保護層 3 9 が形成される。第 4 保護層 3 9 は、 Al_2O_3 や SiO_2 などの絶縁材料で形成され、例えば上部ギャップ層として機能させることができる。また後述するように第 4 保護層 3 9 をスペキュラー層として機能させることもできる。

【 0 0 7 6 】

図 1 に示された磁気検出素子の特徴部分について説明する。

図 1 に示す磁気検出素子では、フリー磁性層 2 8 の素子両側端部上に非磁性中間層 2 9 を介して第 1 強磁性層 3 0 が形成され、第 1 強磁性層 3 0 間のトラック幅方向（図示 X 方向）における間隔 D よりも広い間隔 C を有する第 2 反強磁性層 3 1 が第 1 強磁性層 3 0 上に形成されている。

【 0 0 7 7 】

第 2 反強磁性層 3 1 は、素子両側端部の領域 A 上では厚い膜厚で形成され、この部分と膜厚方向（図示 Z 方向）で重なる第 1 強磁性層 3 0 は第 2 反強磁性層 3 1 との間で発生する交換結合磁界によってトラック幅方向（図示 X 方向）と反平行方向に強固に磁化固定される。またこの磁化固定された第 1 強磁性層 3 0 と膜厚方向で対向する領域 A のフリー磁性層 2 8 は、第 1 強磁性層 3 0 との間で発生する RKKY 相互作用による交換結合によって第 1 強磁性層 3 0 とは反対方向（トラック幅方向）に磁化固定される。

【 0 0 7 8 】

一方、第 2 反強磁性層 3 1 の内側端面 3 1 b よりもトラック幅方向（図示 X 方向）の中心方向に延出する領域 B の第 1 強磁性層 3 0 及びその第 1 強磁性層 3 0 と膜厚方向（図示 Z 方向）で対向する領域 B のフリー磁性層 2 8 には、第 1 強磁性層 3 0 内部及びフリー磁性層 2 8 内部の交換相互作用により媒介されたバイアス磁界の他に、第 1 強磁性層 3 0 とフリー磁性層 2 8 との間で生じる R K K Y 相互作用による交換結合も作用し、これによって領域 B の第 1 強磁性層 3 0 及びフリー磁性層 2 8 の感度はより鈍化し、この領域 B での感度をゼロにすることもできる。

【 0 0 7 9 】

またフリー磁性層 2 8 の素子中央部には、膜厚方向に非磁性中間層 2 9 を介して第 1 強磁性層 3 0 は形成されていない。したがってフリー磁性層 2 8 の素子中央部には、磁性層内部の交換相互作用により媒介されたバイアス磁界のみが働き、第 1 強磁性層 3 0 との間での R K K Y 相互作用による交換結合は働かないから、フリー磁性層 2 8 の素子中央部は外部磁界に対し感度良く磁化反転できる程度に弱く単磁区化された状態となっている。

【 0 0 8 0 】

さらに、第 1 強磁性層 3 0 の内側端面 3 0 a に形成された表面磁荷によって静磁界が発生しても、第 2 反強磁性層 3 1 の上に積層された第 2 強磁性層 3 2 の磁化方向が第 1 強磁性層 3 0 の磁化方向に対して反平行方向であるため、前記静磁界は前記第 2 強磁性層 3 2 に吸い込まれる。

【 0 0 8 1 】

従って、第 1 強磁性層 3 0 から発生する静磁界が、フリー磁性層 2 8 の素子中央部に入りこみにくくなる。その結果、フリー磁性層 2 8 の素子中央部は安定した単磁区化状態を維持できるようになり、ヒステリシスを小さくし、バルクハウゼンノイズの発生を抑えることができる。

【 0 0 8 2 】

さらに図 1 に示すように電極層 3 7 の内側先端部 3 7 b は、第 2 反強磁性層 3 1 の内側端面 3 1 b よりもトラック幅方向（図示 X 方向）の中心方向へ延出形成された領域 B の第 1 強磁性層 3 0 上に第 2 反強磁性層 3 1 の内側先端部 3 1 a 等

を介してオーバーラップ形成されているため、電極層 3 7 からのセンス電流は、素子両側端部の第 2 反強磁性層 3 1 や第 1 強磁性層 3 0 の下に位置する多層膜全体に分流せず、電極層 3 7 のオーバーラップ部（内側先端部 3 7 b）から最短距離でフリー磁性層 2 8 やその下の多層膜の素子中央部に流れる。

【 0 0 8 3 】

図 1 に示す実施形態のその他の特徴的部分について説明する。図 1 に示す実施形態では、第 1 強磁性層 3 0 とフリー磁性層 2 8 の素子両側端部とがその間に非磁性中間層 2 9 を挟んだ人工フェリ構造となっている。非磁性中間層 2 9 は、R u、R h、I r、C r、R e、C u のうち 1 種または 2 種以上で形成されることが好ましい。

【 0 0 8 4 】

第 2 反強磁性層 3 1 の下面側に第 1 強磁性層 3 0 が積層され、第 2 反強磁性層 3 1 の上面側に第 2 強磁性層 3 2 が積層される構造で、第 1 強磁性層 3 0 と第 2 強磁性層 3 2 のそれぞれの磁化方向を互いに反平行方向に固定するためには、フリー磁性層 2 8 の単位面積当たりの磁気モーメントが、第 1 強磁性層 3 0 の単位面積当たりの磁気モーメントより大きくなっている必要がある。

【 0 0 8 5 】

本実施の形態では、フリー磁性層 2 8 と第 1 強磁性層 3 0 を、同じ磁性材料を用いて形成し、フリー磁性層 2 8 の膜厚 t_1 が第 1 強磁性層 3 0 の膜厚 t_2 より大きければ、フリー磁性層 2 8 の単位面積当たりの磁気モーメント $M_s \times t_1$ が、第 1 強磁性層 3 0 の単位面積当たりの磁気モーメント $M_s \times t_2$ より大きくなる。

【 0 0 8 6 】

なお、第 2 強磁性層 3 2 の膜厚 t_3 は、 $10 \text{ \AA} \sim 200 \text{ \AA}$ 、好ましくは $20 \text{ \AA} \sim 90 \text{ \AA}$ である。第 2 強磁性層 3 2 の膜厚 t_3 が薄すぎると、第 1 強磁性層 3 0 と第 2 強磁性層 3 2 間の静磁結合が弱くなり、フリー磁性層 2 8 の単磁区化状態の安定化を適切に図ることができなくなる。一方、第 2 強磁性層 3 2 の膜厚 t_3 が厚すぎると第 2 強磁性層 3 2 から発生する磁界が強くなりすぎて、フリー磁性層 2 8 の中央部の感度を低下させる。また、第 2 強磁性層 3 2 の交換結合磁界は

膜厚に反比例して弱まるので、第2強磁性層32の膜厚 t_3 が厚くなりすぎると、第2強磁性層32の磁化固定が不安定になって、かえってフリー磁性層28の磁区構造を乱す要因になる。

【0087】

次に、図1に示す実施形態では、第2反強磁性層31の内側端面31bの下縁部から領域Aでの第2反強磁性層31の膜厚よりも薄い膜厚の内側先端部31aが、第1強磁性層30の領域B上にまで延出形成されている。この第2反強磁性層31の内側先端部31aは形成されていなくてもよいが後述する磁気検出素子の製造方法によれば、内側先端部31aが形成されていた方がイオンミリングの影響を内側先端部31a下の層に及ばなくすることができるので好ましい。

【0088】

また内側先端部31aの膜厚は50Å以下の薄い膜厚で形成されていることが好ましい。内側先端部31aが50Å以上の厚い膜厚であると、内側先端部31aが反強磁性を帯びて領域Bでの第1強磁性層30との間で交換結合磁界が発生して、領域Bでの第1強磁性層30及びフリー磁性層28が強固に磁化固定され、フリー磁性層28の素子両側端部から磁性層内部の交換相互作用により媒介されるバイアス磁界が、フリー磁性層28の素子中央部の素子両側端部との境界付近で強まり、フリー磁性層28の素子中央部で不感領域が形成される結果、再生出力が低下するからである。

【0089】

なお領域A上に形成された第2反強磁性層31は80Å以上で300Å以下の厚い膜厚で形成されることが好ましい。これによって領域Aでの第2反強磁性層31と第1強磁性層30間で適切な大きさの交換結合磁界が生じ、領域Aでの第1強磁性層30とフリー磁性層28をより効果的に磁化固定することが可能になる。

【0090】

次に図1に示す実施形態では、複数のストッパ層33、35が形成されている。ストッパ層33、35は、Ta、Cr、V、Nb、Mo、W、Fe、Co、Ni、Pt、Rhのうち1種または2以上の元素で形成されることが好ましい。

【 0 0 9 1 】

ストッパ層 3 3、3 5 のうち、第 2 ストッパ層 3 5 は、導電性であり、電極層 3 7 よりもエッチングレートが遅いことが必要である。導電性である必要性は、電極層 3 7 の内側先端部 3 7 b から第 2 ストッパ層 3 5 を介して多層膜 4 0 側にセンス電流が流れるからである。次に電極層 3 7 よりもエッチングレートが遅い必要性は、後述する製造方法によれば、多層膜 4 0 の素子中央部上に形成された電極層 3 7 をエッチングで除去する工程があるが、オーバーエッチングしたときでも、エッチングが素子中央部での電極層 3 7 下の層に影響を与えないようにするためである。オーバーエッチングしても露出するのはエッチングレートの遅い第 2 ストッパ層 3 5 であるから、第 2 ストッパ層 3 5 はオーバーエッチングによって全て除去される心配がなく、その下の層にエッチングの影響が及ぶのを回避することができる。

【 0 0 9 2 】

また第 2 ストッパ層 3 5 は、反応性イオンエッチング (R I E) によってエッチングされない、あるいはされにくい材質である場合には、電極層 3 7 をオーバーエッチングして、第 2 ストッパ層 3 5 が露出しても、第 2 ストッパ層 3 5 はこのエッチングの影響をほとんど受けない。例えば後述する製造方法によれば素子中央部上の電極層 3 7 を反応性イオンエッチングによって除去する工程があるが、第 2 ストッパ層 3 5 が反応性イオンエッチングでエッチングされない材質であれば、そもそも第 2 ストッパ層 3 5 は反応性イオンエッチングでエッチングされず、そのような材質を第 2 ストッパ層 3 5 として使用してもかまわない。

【 0 0 9 3 】

また第 2 ストッパ層 3 5 上には T a からなる第 2 保護層 3 6 が形成され、このとき第 2 ストッパ層 3 5 の材質は例えば C r 層である。C r 層は電極層 3 7 の材質である A u と拡散を起しやすい。拡散すると素子抵抗が上昇するから好ましくない。電極層 3 7 が例えば A u で形成され、第 2 ストッパ層 3 5 が C r 層で形成されるとき、上記した拡散を防止すべく T a からなる第 2 保護層 3 6 を C r 層と電極層 3 7 間に介在させた方が好ましい。

【 0 0 9 4 】

次に図1に示す磁気検出素子の素子中央部の膜構成について以下に説明する。
図1に示す実施形態では、フリー磁性層28の素子中央部上に非磁性中間層29が形成されている。非磁性中間層29は上記したようにRuなどで形成され、この非磁性中間層29は素子両側端部でフリー磁性層28と第1強磁性層30とを人工フェリ構造とするために設けられた層である。

【0095】

従って第1強磁性層30が形成されていない素子中央部ではフリー磁性層2830上に非磁性中間層29が設けられていないなくてもよく、かかる場合、フリー磁性層28の素子中央部上には直接、第4保護層39が形成される。このとき第4保護層39をスペキュラー層として機能させることができる。

【0096】

スペキュラー層の形成により、スペキュラー膜に達した伝導電子（例えばアップスピンを持つ伝導電子）は、そこでスピン状態（エネルギー、量子状態など）を保持したまま鏡面反射する。そして鏡面反射したアップスピンを持つ伝導電子は、移動向きを変えてフリー磁性層28内を通り抜けることが可能になる。

【0097】

このためスペキュラー膜を設けることで、アップスピンを持つ伝導電子の平均自由行程 λ_+ を従来に比べて伸ばすことが可能になり、よってアップスピンを持つ伝導電子の平均自由行程 λ_+ と、ダウンスピンを持つ伝導電子の平均自由行程 λ_- との差を大きくすることができ、従って抵抗変化率 $(\Delta R/R)$ の向上とともに、再生出力の向上を図ることが可能になる。

【0098】

スペキュラー膜の形成は、例えば第4保護層39としてTa膜を10～20Å程度成膜し、大気中でこのTa層を完全に酸化する。他にスペキュラー膜の材質としては、Fe-O、Ni-O、Co-O、Co-Fe-O、Co-Fe-Ni-O、Al-O、Al-Q-O（ここでQはB、Si、N、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Niから選択される1種以上）、R-O（ここでRはCu、Ti、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Wから選択される1種以上）の酸化物、Al-N、Al-Q-N（ここでQはB、Si、O、Ti、V、Cr、Mn、

Fe、Co、Niから選択される1種以上)、R-N(ここでRはTi、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選択される1種以上)の窒化物、半金属ホイッスラー合金などを提示できる。

【0099】

また第4保護層39の形成により、特に素子のハイト方向(図示Y方向)奥側で電極層37と図示しない上部シールド層とがショートするのを適切に防止でき、また電極層37等の上面を適切に酸化から防止することが可能になる。

【0100】

図1に示す磁気検出素子は、電極層37からのセンス電流が、多層膜40の各膜面に対しほぼ平行な方向に流れるCIP(current in the plane)型となっているが、図1に示す磁気検出素子の構成を、センス電流が多層膜40の各層を膜厚方向に流れるCPP(current perpendicular to the plane)型の磁気検出素子にも適用可能である。

【0101】

その実施形態は図2であり、図2は本発明における第2実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。なお図1と同じ符号が付けられている層は図1と同じ層を示している。

【0102】

図2に示す実施形態では、基板20が下部電極層であり、例えば磁性材料で形成された下部シールド層である。

【0103】

図2に示す実施形態では、図1の電極層37が形成されていた位置に Al_2O_3 や SiO_2 などの絶縁材料で形成された絶縁層41が形成される。また図1のように第4保護層39を形成せず、絶縁層41上から素子中央部の非磁性中間層29上にかけて上部電極層42が形成される。上部電極層42は例えば磁性材料で形成された上部シールド層である。

【0104】

図2に示す実施形態では、第2反強磁性層31と上部電極層42間に絶縁層41が形成されるので、上部電極層42から多層膜40に膜厚方向に流れるセンス

電流が第2反強磁性層31に分流するのを抑制でき再生出力の大きい磁気検出素子を製造することができる。

【0105】

また図1のように第4保護層39を設けなかったのは、絶縁性の第4保護層39が素子中央部の非磁性中間層29上に形成されると電極層から膜厚方向に素子中央部の多層膜40に流れるセンス電流の流れが第4保護層39の存在で流れにくくなりあるいは遮断され再生特性の低下を招くからである。ただし、第4保護層39が非磁性導電性材料で形成される場合、第4保護層39が設けられていてもよい。その場合、第4保護層39は上部ギャップ層の一部として構成される。

【0106】

なお図2に示す非磁性材料層27は、例えばCuで形成されているが、スピントネル効果の原理を用いたトンネル型磁気抵抗効果素子（TMR素子）の場合、非磁性材料層27は、例えば Al_2O_3 等の絶縁材料で形成される。

【0107】

図3は本発明における第3実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。なお図1と同じ符号が付けられている層は図1と同じ層を示している。

【0108】

図3に示される磁気検出素子は、第2強磁性層60が硬磁性材料によって形成されたものであって、第2反強磁性層31の上に非磁性層61を介して積層されている点で図1に示された磁気検出素子と異なっている。

【0109】

図3の非磁性層61は、Ta層61aの上に下地層61bが積層されたものである。下地層61bは、CrやW結晶構造が体心立方構造（bcc構造）の金属膜で形成されることが好ましい。このとき下地層61bの結晶配向は（100）面が優先配向するのが好ましい。

【0110】

しかし、下地層61bが反強磁性層31の上に直接積層されると、下地層61bの結晶配向は（110）面が優先配向し、下地層61b上に積層される第2強

磁性層 6 0 の保磁力 H_c 及び角型比 S が減少する。

【0 1 1 1】

そこで、図 3 では下地層 6 1 b を T a 層 6 1 a の上に形成することによって、下地層 6 1 b の優先配向する面を (1 0 0) 面または無配向に近くしている。

【0 1 1 2】

図 3 における磁気検出素子では、第 2 強磁性層 6 0 を硬磁性材料である C o P t 合金や C o P t C r 合金などで形成している。これら合金の結晶構造は、稠密六方構造 (h c p) 単相あるいは面心立方構造 (f c c) と稠密六方構造 (h c p) の混相となっている。

【0 1 1 3】

ここで、下地層 6 1 b の優先配向する面を (1 0 0) 面にすると、第 2 強磁性層 6 0 を形成している C o P t 系合金は f c c 構造を形成しづらく h c p 構造で形成されやすくなる。このとき h c p 構造の c 軸は C o P t 系合金と下地層 6 1 b の境界面内に優先配向される。h c p 構造は c 軸方向に大きな磁気異方性を生じるため膜面内方向の保磁力 H_c が大きくなる。さらに h c p の c 軸は C o P t 系合金と下地層 6 1 b との境界面内で優先配向となっているため、残留磁化が増大し、残留磁化／飽和磁束密度で求められる角形比 S は大きくなる。

【0 1 1 4】

図 3 の磁気検出素子でも、第 1 強磁性層 3 0 の内側端面 3 0 a に形成された表面磁荷によって静磁界が発生しても、第 2 反強磁性層 3 1 の上に積層された第 2 強磁性層 6 0 の磁化方向が第 1 強磁性層 3 0 の磁化方向に対して反平行方向であるため、前記静磁界は第 2 強磁性層 6 0 に吸い込まれる。

【0 1 1 5】

従って、第 1 強磁性層 3 0 から発生する静磁界が、フリー磁性層 2 8 の素子中央部に入りこみにくくなる。その結果、フリー磁性層 2 8 の素子中央部は安定した単磁区化状態を維持できるようになり、ヒステリシスを小さくし、バルクハウゼンノイズの発生を抑えることができる。

【0 1 1 6】

図 4 は本発明における第 4 実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側か

ら見た部分断面図である。なお図 3 と同じ符号が付けられている層は図 3 と同じ層を示している。

【 0 1 1 7 】

図 4 に示される磁気検出素子では、第 2 強磁性層 6 2 は、軟磁性材料によって形成されたものであって、第 2 反強磁性層 3 1 の上に非磁性層 6 1 を介して積層されている。また、第 3 反強磁性層 6 3 が第 2 強磁性層 6 2 の上面に直接積層されているものである。

【 0 1 1 8 】

この磁気検出素子では、第 2 強磁性層 6 2 と第 3 反強磁性層 6 3 の界面に交換結合磁界が発生することによって、第 2 強磁性層 6 2 の磁化方向が第 1 強磁性層 3 0 の磁化方向に対して反平行方向になっている。

【 0 1 1 9 】

図 4 において、第 3 反強磁性層 6 3 は、第 1 反強磁性層 2 2 及び第 2 反強磁性層 3 1 と同じ反強磁性材料によって形成されている。ただし、第 3 反強磁性層 6 3 を、第 1 反強磁性層 2 2 及び第 2 反強磁性層 3 1 を形成する反強磁性材料のブロッキング温度より低いブロッキング温度を有する反強磁性材料によって形成してもよい。第 1 反強磁性層 2 2 及び第 2 反強磁性層 3 1 を形成する反強磁性材料のブロッキング温度より低いブロッキング温度を有する反強磁性材料の具体例として、 IrMn 、 FeMn をあげることができる。

【 0 1 2 0 】

図 4 の磁気検出素子でも、第 1 強磁性層 3 0 の内側端面 3 0 a に形成された表面磁荷によって静磁界が発生しても、第 2 反強磁性層 3 1 の上に積層された第 2 強磁性層 6 2 の磁化方向が第 1 強磁性層 3 0 の磁化方向に対して反平行方向であるため、前記静磁界は第 2 強磁性層 6 2 に吸い込まれる。

【 0 1 2 1 】

従って、第 1 強磁性層 3 0 から発生する静磁界が、フリー磁性層 2 8 の素子中央部に入りこみにくくなる。その結果、フリー磁性層 2 8 の素子中央部は安定した単磁区化状態を維持できるようになり、ヒステリシスを小さくし、バルクハウゼンノイズの発生を抑えることができる。

【 0 1 2 2 】

また、図 3 及び図 4 に示された磁気検出素子では、第 2 強磁性層 6 0 及び第 2 強磁性層 6 2 が、第 2 反強磁性層 3 1 の上から、第 2 反強磁性層 3 1 の内側端面 3 1 b よりもトラック幅方向の中心方向へ延出形成された領域 B の第 1 強磁性層 3 0 上にかけて形成されている。

【 0 1 2 3 】

その結果、第 1 強磁性層 3 0 の内側端面 3 0 a と第 2 強磁性層 6 0 の内側端面 6 0 a が連続面上に形成され、互いの距離が短くなる。または、第 1 強磁性層 3 0 の内側端面 3 0 a と第 2 強磁性層 6 2 の内側端面 6 2 a が連続面上に形成され、互いの距離が短くなる。

【 0 1 2 4 】

従って、第 1 強磁性層 3 0 と第 2 強磁性層 6 0 間の静磁結合及び第 1 強磁性層 3 0 と第 2 強磁性層 6 2 間の静磁結合が強くなり、前記静磁界がフリー磁性層 2 8 の素子中央部にいっそう入りこみにくくなる。その結果、フリー磁性層 2 8 の素子中央部の単磁区化状態をより確実に維持できるようになり、よりいっそうヒステリシスを小さくし、バルクハウゼンノイズの発生を抑えることができる。

【 0 1 2 5 】

ただし、第 2 強磁性層 6 0 の内側端面 6 0 a 及び第 2 強磁性層 6 2 の内側端面 6 2 a は、必ずしも第 1 強磁性層 3 0 の内側端面 3 0 a からつながる連続面上になくてもよく、第 2 強磁性層 6 0 の内側端面 6 0 a 及び第 2 強磁性層 6 2 の内側端面 6 2 a が、第 1 強磁性層 3 0 の内側端面 3 0 a からつながる連続面よりも、素子中央部から離れる側に位置してもよい。第 2 強磁性層 6 0 及び第 2 強磁性層 6 2 が第 2 反強磁性層 3 1 の反強磁性を有する領域 (A) の上にだけ形成されてもよい。

【 0 1 2 6 】

なお、硬磁性材料からなる第 2 強磁性層 6 0 や、第 3 反強磁性層 6 3 との間の交換結合磁界によって磁化が固定される第 2 強磁性層 6 2 を形成する磁気検出素子であれば、フリー磁性層 2 8 の単位面積当たりの磁気モーメントが、第 1 強磁性層 3 0 の単位面積当たりの磁気モーメントより大きくても、小さくても、第 1

強磁性層 3 0 の磁化と第 2 強磁性層 6 0 の磁化を反平行方向にすること、及び第 1 強磁性層 3 0 の磁化と第 2 強磁性層 6 2 の磁化を反平行方向にすることができる。

【 0 1 2 7 】

なお、図 3 ないし図 4 に示す磁気検出素子は、電極層 3 7 からのセンス電流が、多層膜 4 0 の各膜面に対しほぼ平行な方向に流れる C I P (current in the plane) 型となっているが、図 2 に示される磁気検出素子と同様に、多層膜 4 0 の上下に電極層を設け、センス電流が多層膜 4 0 の各層を膜厚方向に流れる C P P (current perpendicular to the plane) 型の磁気検出素子とすることも可能である。

【 0 1 2 8 】

図 5 ないし図 1 3 は図 1 に示す磁気検出素子の製造方法を示す一工程図である。図 5 ないし図 1 3 に示す各工程は記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

【 0 1 2 9 】

図 5 に示す工程では、基板 2 0 上に、シードレイヤ 2 1、第 1 反強磁性層 2 2、固定磁性層 2 3、非磁性材料層 2 7、フリー磁性層 2 8、非磁性中間層 2 9、第 1 強磁性層 3 0、第 2 反強磁性層 3 1 d、及び非磁性層 5 0 を連続成膜する。成膜にはスパッタ法や蒸着法が使用される。スパッタ法には、d c マグネトロンスパッタ法、R F スパッタ法、イオンビームスパッタ法、ロングスロースパッタ法、コリメーションスパッタ法などを使用できる。図 5 に示す固定磁性層 2 3 は、例えば C o F e 合金などで形成された磁性層 2 4 と磁性層 2 6 と、両磁性層 2 4、2 6 間に介在する R u などの非磁性の中間層 2 5 との人工フェリ構造である。フリー磁性層 2 8 は、N i F e 合金などの磁性材料で形成されるが、フリー磁性層 2 8 と非磁性材料層 2 7 との間に C o F e 合金などで形成された拡散防止層が形成されていてもよい。また非磁性中間層 2 9 とフリー磁性層 2 8 の間に C o F e が挿入されてもよい。これによりフリー磁性層 2 8 と第 1 強磁性層 3 0 間に働く R K K Y 相互作用による交換結合を強くできる。

【 0 1 3 0 】

図5に示す工程では第1反強磁性層22及び第2反強磁性層31dを、PtMn合金、または、X-Mn（ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはPt-Mn-X'（ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である）合金で形成することが好ましい。

【0131】

またPtMn合金及びX-Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが37～63at%の範囲であることが好ましい。また、PtMn合金及びX-Mnの式で示される合金において、PtあるいはXが47～57at%の範囲であることがより好ましい。特に規定しない限り、～で示す数値範囲の上限と下限は以下、以上を意味する。

【0132】

また、Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X'+Ptが37～63at%の範囲であることが好ましい。また、Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X'+Ptが47～57at%の範囲であることがより好ましい。さらに、Pt-Mn-X'の式で示される合金において、X'が0.2～10at%の範囲であることが好ましい。ただし、X'がPd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である場合には、X'は0.2～40at%の範囲であることが好ましい。

【0133】

また図5工程では第1反強磁性層22の膜厚を80Å以上で300Å以下で形成することが好ましい。この程度の厚い膜厚で第1反強磁性層22を形成することにより磁場中アニールで、第1反強磁性層22と固定磁性層23間に大きな交換結合磁界を発生させることができる。具体的には、48kA/m以上、例えば64kA/mを越える交換結合磁界を発生させることができる。

【0134】

また本発明では第2反強磁性層31dの膜厚を20Å以上で50Å以下で形成することが好ましく、より好ましくは30Å以上で40Å以下で形成する。

【0135】

上記のように第2反強磁性層31dを50Å以下の薄い膜厚で形成することにより、第2反強磁性層31dは非反強磁性の性質を帯びる。このため下記の第1の磁場中アニールを施しても、第2反強磁性層31dは規則化変態しにくく、第2反強磁性層31dと第1強磁性層30間に交換結合磁界が発生せずあるいは発生してもその値は小さく、第1強磁性層30及びフリー磁性層28の磁化が、固定磁性層23と同じように強固に固定されることがない。

【0136】

また第2反強磁性層31dが20Å以上、好ましくは30Å以上で形成されるとしたのは、この程度の膜厚がないと、後工程で第2反強磁性層31d上に重ねて第2反強磁性層31cを形成しても、第2反強磁性層31dと第2反強磁性層31cとを合わせた第2反強磁性層31の下面付近が反強磁性の性質を帯び難く、第2反強磁性層31と第1強磁性層30間に適切な大きさの交換結合磁界が発生しないからである。

【0137】

図5に示す工程では、フリー磁性層28上に非磁性中間層29を介して第1強磁性層30が形成されており、この3層で人工フェリ構造が構成されている。

【0138】

なお、フリー磁性層28と第1強磁性層30を同じ組成の軟磁性材料によって形成し、フリー磁性層28の膜厚 t_1 を第1強磁性層30の膜厚 t_2 より大きくする。

【0139】

図5に示す工程では、非磁性中間層29をRu、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種またはこれらの2種以上の合金で形成することが好ましい。また非磁性中間層29を例えば6Å～11Åの膜厚で形成する。この程度の薄い膜厚であると、フリー磁性層28と第1強磁性層30間でRKKY相互作用による交換結合が発生し、フリー磁性層28と第1強磁性層30の磁化は反平行状態になる。

【0140】

また図5の工程のように第2反強磁性層31d上に非磁性層50を形成することで、図5に示す積層体が大気暴露されても第2反強磁性層31dが酸化されるのを適切に防止できる。

【0141】

ここで非磁性層50は大気暴露によって酸化されにくい緻密な層である必要がある。また熱拡散などにより非磁性層50を構成する元素が第2反強磁性層31d内部に侵入しても第2反強磁性層31dとしての性質を劣化させない材質である必要がある。

【0142】

本発明では非磁性層50をRu、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rhのいずれか1種または2種以上からなる貴金属で形成することが好ましい。

【0143】

Ruなどの貴金属からなる非磁性層50は大気暴露によって酸化されにくい緻密な層である。したがって非磁性層50の膜厚を薄くしても第2反強磁性層31dが大気暴露によって酸化されるのを適切に防止できる。

【0144】

本発明では非磁性層50を3Å以上で10Å以下で形成することが好ましい。この程度の薄い膜厚の非磁性層50によっても第2反強磁性層31dが大気暴露によって酸化されるのを適切に防止することが可能である。

【0145】

本発明では上記のように非磁性層50をRuなどの貴金属で形成し、しかも非磁性層50を3Å～10Å程度の薄い膜厚で形成したことで、非磁性層50をイオンミリングで削り込む段階において、イオンミリングを低エネルギーで行うことができミリング制御を従来に比べて向上させることができる。

【0146】

ここで低エネルギーのイオンミリングとは、ビーム電圧（加速電圧）が1000V未満のイオンビームを用いたイオンミリングであると定義される。例えば、100V～500Vのビーム電圧が用いられる。本実施の形態では、200Vの低ビーム電圧のアルゴン（Ar）イオンビームを用いている。

【 0 1 4 7 】

図5に示すように基板20上に非磁性層50までの各層を積層した後、第1の磁場中アニールを施す。トラック幅 T_w （図示X方向）と直交する方向である第1の磁界（図示Y方向）を印加しつつ、第1の熱処理温度で熱処理し、第1反強磁性層22と固定磁性層23を構成する磁性層24との間に交換結合磁界を発生させて、磁性層24の磁化を図示Y方向に固定する。もう一方の磁性層26の磁化は、磁性層24との間で働くRKKY相互作用による交換結合によって図示Y方向とは逆方向に固定される。なお例えば第1の熱処理温度を270℃とし、磁界の大きさを800（kA/m）とする。

【 0 1 4 8 】

また上記したように、この第1の磁場中アニールによって第2反強磁性層31dと第1強磁性層30との間には交換結合磁界は発生しないかあるいは発生してもその値は小さい。第2反強磁性層31dは50Å以下の薄い膜厚で形成されており、反強磁性としての性質を有していないからである。

【 0 1 4 9 】

また上記した第1の磁場中アニールによって、非磁性層50を構成するRuなどの貴金属元素が、第2反強磁性層31d内部に拡散するものと考えられる。従って熱処理後における第2反強磁性層31dの表面近くの構成元素は、第1強磁性層30を構成する元素と貴金属元素とから構成される。また第2反強磁性層31d内部に拡散した貴金属元素は、第2反強磁性層31dの下面側よりも第2反強磁性層31dの表面側の方が多く、拡散した貴金属元素の組成比は、第2反強磁性層31dの表面から下面に向うに従って徐々に減るものと考えられる。このような組成変調は、SIMS分析装置や透過電子顕微鏡TEMによるナノビームEDX分析などで確認することが可能である。

【 0 1 5 0 】

次に非磁性層50を、イオンミリングで削る。ここで非磁性層50を削る理由は、できる限り非磁性層50の膜厚を薄くしておかないと、次工程で第2反強磁性層31dの上にさらに積み重ねて付け足される第2反強磁性層31cとの間で反強磁性的な相互作用を生じさせることができないからである。

【0151】

図5工程では、このイオンミリング工程で、非磁性層50をすべて削り取ってしまうてもよいが、3Å以下であれば非磁性層50を残してもよい。この程度にまで非磁性層50の膜厚を薄くすることで、次工程で、付け足されて膜厚が厚くされた第2反強磁性層31を反強磁性体として機能させることができる。

【0152】

図5に示すイオンミリング工程では、低エネルギーのイオンミリングを使用できる。その理由は、非磁性層50が3Å～10Å程度の非常に薄い膜厚で形成されているからである。またRuなどで形成された非磁性層50は3Å～10Å程度の薄い膜厚であっても、その下に形成された第2反強磁性層31dが酸化されるのを十分に防止でき、低エネルギーのイオンミリングによって非磁性層50の削り量をミリング制御しやすい。

【0153】

次に図6工程を施す。図6に示す工程では、膜厚の薄い第2反強磁性層31d上（あるいは一部、非磁性層50が残されている場合には非磁性層50上）に第2反強磁性層31cを積み重ねて付け足す。そしてこの2つの第2反強磁性層31d、31cで膜厚の厚い第2反強磁性層31を構成する。このとき第2反強磁性層31を80Å以上で300Å以下の膜厚となるようにする。

【0154】

次に第2反強磁性層31の上に第2強磁性層32を形成する。第2強磁性層32は、CoFe、NiFeなどの軟磁性材料を用いて形成する。

【0155】

第2強磁性層32の膜厚 t_3 は、10Å～200Å、好ましくは20Å～90Åである。

【0156】

次に第2反強磁性層31の上に第1ストッパ層33を形成する。第1ストッパ層33を、Cr、Ta、V、Nb、Mo、W、Fe、Co、Ni、Pt、Rhのうち1種または2種以上の元素で形成することが好ましい。第1ストッパ層33を30Å～100Åの膜厚で形成することが好ましい。

【 0 1 5 7 】

また第 1 ストップ層 3 3 上に第 1 保護層 3 4 を形成することが好ましい。第 1 ストップ層 3 3 及びその下の層を大気暴露による酸化から適切に保護するためである。また第 1 保護層 3 4 は第 2 反強磁性層 3 1 をエッチングする際のマスク層の一部としても機能する。第 1 保護層 3 4 を例えば T a で形成する。

【 0 1 5 8 】

次に第 2 の磁場中アニールを施す。このときの磁場方向は、トラック幅方向（図示 X 方向）である。なおこの第 2 の磁場中アニールは、第 2 の印加磁界を、第 1 反強磁性層 2 2 の交換異方性磁界よりも小さく、またフリー磁性層 2 8 及び第 1 強磁性層 3 0 のスピントロップ磁界よりも小さく、しかも熱処理温度を、第 1 反強磁性層 2 2 のブロッキング温度よりも低くする。これによって、第 1 反強磁性層 2 2 と第 2 反強磁性層 3 1 を共に、上記した P t M n 合金や P t M n X 合金等で形成しても、第 1 反強磁性層 2 2 の交換異方性磁界の方向をハイト方向（図示 Y 方向）に向けたまま、第 2 反強磁性層 3 1 の交換異方性磁界をトラック幅方向（図示 X 方向）に向けることができる。なお第 2 の熱処理温度は例えば 2 5 0 ℃であり、磁界の大きさは 2 4 (k A / m) である。

【 0 1 5 9 】

上記の第 2 の磁場中アニールによって、第 2 反強磁性層 3 1 は適切に規則化変態し、第 2 反強磁性層 3 1 と第 1 強磁性層 3 0 間に適切な大きさの交換結合磁界が発生する。

【 0 1 6 0 】

フリー磁性層 2 8 と第 1 強磁性層 3 0 は同じ組成の軟磁性材料によって形成されており、しかもフリー磁性層 2 8 の膜厚 t_1 が第 1 強磁性層 3 0 の膜厚 t_2 より大きくなっている。従って、フリー磁性層 2 8 の単位面積当たりの磁気モーメントが、第 1 強磁性層 3 0 の単位面積当たりの磁気モーメントより大きくなっている。

【 0 1 6 1 】

これによってフリー磁性層 2 8 の磁化は、第 2 の磁場中アニールの印加磁場方向であるトラック幅方向（図示 X 方向）に固定される。一方、第 1 強磁性層 3 0

の磁化はフリー磁性層 2 8 との間で生じる R K K Y 相互作用による交換結合によってフリー磁性層 2 8 とは反平行（トラック幅方向と反平行方向：図示 X 方向と反平行方向）に磁化され固定される。

【 0 1 6 2 】

同時に、第 2 反強磁性層 3 1 と第 2 強磁性層 3 2 の間にも適切な大きさの交換結合磁界が発生し、第 2 強磁性層 3 2 の磁化がトラック幅方向に固定される。

【 0 1 6 3 】

このように、本実施の形態では、第 2 の磁場中アニールを行うだけで、第 1 強磁性層 3 0 と第 2 強磁性層 3 2 の磁化を、互いに反平行になるように固定できる。

【 0 1 6 4 】

次に図 7 に示す工程では、第 1 保護層 3 4 上にトラック幅方向（図示 X 方向）に所定の間隔 T 3 を開けたマスク層 5 1 を形成する。間隔 T 3 は、少なくともトラック幅 T w よりも広い間隔で形成する。またこの工程ではマスク層 5 1 を反応性イオンエッチング（R I E）で削られない、あるいは削られ難い材質で形成する。マスク層 5 1 をレジストで形成してもよいが、金属層で形成するとマスク層 5 1 が残されてもこのマスク層 5 1 を電極の一部として機能させることができる。図 7 工程ではマスク層 5 1 を金属層で形成しており、例えばマスク層 5 1 を C r 層で形成している。なお次工程で、このマスク層 5 1 に覆われていない第 1 保護層 3 4、第 1 ストップ層 3 3、および第 2 反強磁性層 3 1 をエッチングしていくが、このエッチング工程が終るまで少なくともマスク層 5 1 の下の第 1 保護層 3 4 は残されている必要がある。このためマスク層 5 1 を形成する際のマスク層 5 1 の材質や膜厚を工夫する必要がある。例えばマスク層 5 1 が C r 層で形成されているとき、第 1 ストップ層 3 3 も C r で形成されているときは、マスク層 5 1 の膜厚を第 1 ストップ層 3 3 の膜厚よりも厚くしておかないと、第 1 ストップ層 3 3 が削り取られた際に既にマスク層 5 1 が第 1 保護層 3 4 上に残されていないという事態が生じてしまう。またマスク層 5 1 及び第 1 保護層 3 4 は第 2 反強磁性層 3 1 に比べてエッチングレートが遅い、あるいは第 2 反強磁性層 3 1 をエッチングする際に使用されるエッチングガスに対してエッチングされない材質で

形成されることが好ましい。

【0165】

なおマスク層51を金属層で形成する場合、マスク層51を50Å～300Å程度の膜厚で形成することが好ましい。

【0166】

マスク層51は、例えば第1保護層34の間隔T3上にリフトオフ用のレジスト層（図示しない）を形成し、レジスト層に覆われていない第1保護層34の両側端部上にCrなどで形成されたマスク層をスパッタ成膜し、その後、レジスト層を除去して形成される。

【0167】

図8工程では、マスク層51に覆われていない第1保護層34をエッチングで削り取っていく。このエッチングには反応性イオンエッチング（RIE）を使用することが好ましい。エッチングガスとして、 CF_4 や C_3F_8 あるいはArと CF_4 の混合ガス、または C_3F_8 とArとの混合ガスを使用する。

【0168】

図8に示す点線部分の第1保護層34を削り取ると、その下には第1ストッパ層33の表面が現れる。第1保護層34下は第1ストッパ層33であるので、第1保護層34をオーバーエッチングしても露出した第1ストッパ層33がすべて除去されることがない。マスク層51間に現われる第1保護層34をオーバーエッチングすることで、第1保護層34の内側端面34aを適切な傾斜面あるいは湾曲面として形成でき、露出した第1ストッパ層33上に第1保護層34が残らないようにすることができる。

【0169】

次に図9に示す工程では、マスク層51間に現れた第1ストッパ層33をイオンミリングで削り（点線部分が削られた第1ストッパ層33）、さらにその下に形成された第2反強磁性層31を途中までイオンミリングで削り込む（点線部分が削られた第2反強磁性層）。なおこの工程でマスク層51も削られる。また図9に示すように素子の中央に膜厚h1の第2反強磁性層31a（上記では符号31aを「内側先端部」と称していたが、ここでは便宜上、第2反強磁性層31a

と称す)が残されるが、この膜厚 h_1 は 50 \AA 以下、好ましくは 40 \AA 以下であることが好ましい。第2反強磁性層31aの膜厚 h_1 を 50 \AA 以下の薄い膜厚にすることでその下に形成されている第1強磁性層30との間で発生していた交換結合磁界が弱まりあるいは消滅する。なお第2の磁場中アニールを図6工程後に行わず、図9工程後に行う場合は、この部分の第2反強磁性層31aは薄いために規則化変態しにくく反強磁性特性が発生しないか発生しても弱くすることができる。なお第2反強磁性層31の削り込み量はイオンミリング装置に内蔵されたSIMS分析装置によりモニタしながら制御することが可能である。また素子の中央の第2反強磁性層31aは全て削られ、この部分から第1強磁性層30の表面が現れてもよい。ただし素子の中央の第2反強磁性層31aを全て削り取った瞬間にエッチングを止めることは難しく、かかる場合、このエッチングの影響が第1強磁性層30にも及ぶので、図9のように 50 \AA 以下の薄い膜厚で素子の中央に第2反強磁性層31aを残すことが好ましい。

【0170】

またマスク層51間に現れた第1保護層34、第1ストッパ層33及び第2反強磁性層31をエッチングで削り込むことで、第1保護層34の内側端面34aと第2反強磁性層31の内側端面31bを連続した傾斜面あるいは湾曲面として形成することができる。なお図9に示すように上記イオンミリング工程で、マスク層51はすべて除去されてもよいが(点線で示されている)、若干、マスク層51が残されていてもよい。

【0171】

図9工程後、図9に示す製造途中の磁気検出素子の素子ハイト長さ(図示Y方向への長さ寸法)を規定するため、磁気検出素子を所定形状にパターニングして素子ハイト奥側を除去し、その除去された部分に Al_2O_3 などで形成された絶縁層(これをバックフィルギャップ層とも呼ぶ)を形成する。

【0172】

次に図10に示す工程では、第1保護層34上から第1保護層34及び第2反強磁性層31の内側端面34a、31b上、さらには素子の中央に残された第2反強磁性層31a上にかけて第2ストッパ層35を形成し、さらにその上に第2

保護層 3 6 を形成する。さらに図 1 0 に示す工程では第 2 保護層 3 6 上に電極層 3 7 を形成し、電極層 3 7 上に第 3 保護層 3 8 を形成する。第 2 ストップ層 3 5 は第 1 ストップ層 3 3 として使用可能な材質で形成される。また第 2 保護層 3 6 及び第 3 保護層 3 8 は第 1 保護層 3 4 として使用可能な材質で形成される。

【 0 1 7 3 】

また電極層 3 7 は、A u、P d、C r、R h、R u、T a、W などの非磁性導電材料で形成される。

【 0 1 7 4 】

第 2 ストップ層 3 5 として必要な性質はまず導電性であることである。第 2 ストップ層 3 5 は、図 1 のように電極層 3 7 の内側先端部 3 7 b 下に一部残され、センス電流は電極層 3 7 の内側先端部 3 7 b から多層膜 4 0 側にかけて流れるため、第 2 ストップ層 3 5 が電氣的に絶縁性であるとセンス電流の流れを阻害することになるからである。

【 0 1 7 5 】

次に第 2 ストップ層 3 5 は電極層 3 7 よりもエッチングレートが遅い材質であることが好ましい。あるいは電極層 3 7 のエッチング時に使用されるエッチングガスによってエッチングされない材質であることが好ましい。電極層 3 7 は例えば A u など形成され、この電極層 3 7 をエッチングする際に A r ガスや A r と C₃F₈ の混合ガスなどを使用するが、このとき第 2 ストップ層 3 5 を C r など形成することで、A r ガスや A r と C₃F₈ の混合ガスに対するエッチングレートを電極層 3 7 よりも遅らせることが可能になる。

【 0 1 7 6 】

また第 2 ストップ層 3 5 が C r で形成され、電極層 3 7 が A u で形成されているとき、第 2 ストップ層 3 5 と電極層 3 7 とが元素拡散しやすくなるので、それを防ぐため第 2 ストップ層 3 5 と電極層 3 7 間に T a など形成された第 2 保護層 3 6 を設けることが好ましい。上記のような元素拡散が生じない場合には第 2 保護層 3 6 を設けなくてもよい。

【 0 1 7 7 】

また第 3 保護層 3 8 は電極層 3 7 を大気暴露による酸化から保護するための酸

化防止層である。

【0178】

また上記したように、図10工程前に磁気検出素子は素子ハイト長さが所定寸法に規制されているので、電極層37のハイト側端面は、その下に形成された基板20から第2反強磁性層31までの多層膜のハイト側端面よりもさらにハイト方向（図示Y方向）に長く延ばして形成することができる。これにより素子抵抗を低下させて、再生出力の大きい磁気検出素子を製造することが可能である。

【0179】

次に図11に示す工程では、第3保護層38上にトラック幅方向（図示X方向）に所定の間隔T4が開けられたマスク層52を形成する。このマスク層52間を開けられた間隔T4のトラック幅方向への中心が素子のトラック幅方向への中心と一致するように、マスク層52をアライメント形成する。またこの工程ではマスク層52を反応性イオンエッチング（RIE）で削られない、あるいは削られ難い材質で形成する。マスク層52をレジストで形成してもよいが、金属層で形成してもよい。図11工程ではマスク層52を金属層で形成しており、例えばマスク層52をCr層で形成している。なお次工程で、このマスク層52に覆われていない電極層37、素子の中央に残された第2反強磁性層31a、第1強磁性層30等をエッチングしていくが、このエッチング工程が終るまで少なくともマスク層52あるいはその下の第3保護層38は残されている必要がある。このためマスク層52を形成する際のマスク層52の材質や膜厚を工夫する必要がある。またマスク層52は電極層37に比べてエッチングレートが遅い、あるいはエッチングされない材質で形成されることが好ましい。

【0180】

なおマスク層52を金属層で形成する場合、マスク層52を100Å～500Å程度の膜厚で形成することが好ましい。

【0181】

マスク層52は、例えば第3保護層38の間隔T4上にリフトオフ用のレジスト層（図示しない）を形成し、レジスト層に覆われていない第3保護層38の両側端部上にCrなどで形成されたマスク層をスパッタ成膜し、その後、レジスト

層を除去して形成される。

【 0 1 8 2 】

またマスク層 5 2 のトラック幅方向（図示 X 方向）に開けられた間隔 T 4 は、第 2 反強磁性層 3 1 の内側端面 3 1 b の下面間のトラック幅方向における間隔 C よりも狭くすることが好ましいが、電極層 3 7 の両側端面が傾斜面あるいは湾曲面で形成されるようにエッチングされる場合には、この限りでない。

【 0 1 8 3 】

次に図 1 2 に示す工程では、マスク層 5 2 に覆われていない第 3 保護層 3 8 及び電極層 3 7（図 1 2 では点線で示されている）をエッチングで削り取っていく。このエッチングには反応性イオンエッチング（R I E）を使用することが好ましい。エッチングガスとして、 CF_4 や C_3F_8 あるいは Ar と CF_4 の混合ガス、または C_3F_8 と Ar との混合ガスを使用する。

【 0 1 8 4 】

図 1 2 に示す点線部分の第 3 保護層 3 8、電極層 3 7 及び第 2 保護層 3 6 を削り取ると、その下には第 2 ストップ層 3 5 の表面が現れる。電極層 3 7 をすべて削り取ってもその下に現われる層は第 2 ストップ層 3 5 であるから、オーバーエッチングしても第 2 ストップ層 3 5 がすべて削り取られる心配はない。そしてオーバーエッチングすることで、電極層 3 7 の内側端面 3 7 a を下方から上方に向けて（図示 z 方向）徐々に電極層 3 7 間の間隔が広がる適切な傾斜面あるいは湾曲面として形成でき、また上記エッチングで現われた第 2 ストップ層 3 5 上に電極層 3 7 の一部が残らないようにすることができる。

【 0 1 8 5 】

次に図 1 3 に示す工程では、マスク層 5 2 間に現れた第 2 ストップ層 3 5 をイオンミリングで削り（点線部分が削られた第 2 ストップ層 3 5）、さらにその下に残された第 2 反強磁性層 3 1 a を削り、またこの図 1 3 工程では、その下に現われた第 1 強磁性層 3 0 をすべて除去してイオンミリングを止めている。このイオンミリング時の削り込み量は S I M S 分析計によって制御することが可能である。特にこのイオンミリングは低エネルギーのイオンミリングを使用できる。削り込む層の膜厚が薄いからである。このためミリング制御を向上させることがで

き、第1強磁性層30をすべて除去した瞬間にミリングを止めることも精度良く行うことができる。

【0186】

ここで低エネルギーのイオンミリングとは、ビーム電圧（加速電圧）が1000V未満のイオンビームを用いたイオンミリングであると定義される。例えば、1000V～5000Vのビーム電圧が用いられる。本実施の形態では、2000Vの低ビーム電圧のアルゴン（Ar）イオンビームを用いている。

【0187】

図13工程ではイオンミリングで削り取られた第1強磁性層30下の非磁性中間層29をそのまま残しているが、一部削られてもよいし、全て削り取られフリー磁性層28の表面が露出してもよい。また図13工程ではイオンミリングでマスク層52間に露出した第1強磁性層30がすべて除去されるが、一部残されていてもよい。

【0188】

図13工程を終了すると、素子中央部ではフリー磁性層28上に第1強磁性層30が形成されていない形態となり、また素子両側端部であって素子中央部に近い領域Bではフリー磁性層28上に非磁性中間層29を介して第1強磁性層30が積層された人工フェリ構造となるが、第1強磁性層30上には第2反強磁性層31は設けられておらず（図13では第1強磁性層30上に膜厚の非常に薄い第2反強磁性層31の内側先端部31aが残される）、さらに素子両側端部であって素子中央部から遠い領域Aではフリー磁性層28上に非磁性中間層29を介して第1強磁性層30が積層された人工フェリ構造となり、且つ第1強磁性層30上に膜厚の厚い第2反強磁性層31が積層された形態となる。

【0189】

トラック幅Twは第1強磁性層30の下面間のトラック幅方向への間隔Dで決定される。

【0190】

図13工程のイオンミリングによって、第1強磁性層30の内側端面30aが形成され、表面磁荷が発生する。しかし、図6工程の第2の磁場中アニールによ

って、第1強磁性層30と第2強磁性層32の磁化を互いに反平行になるように固定していたので、第1強磁性層30の内側端面30aと第2強磁性層32の内側端面32a間に静磁結合を生じさせることができる。従って、フリー磁性層28の素子中央部に入りこむ、第1強磁性層30から発生する静磁界を減少させることができる。

【0191】

図13工程後、図1に示す第4保護層39を第3保護層38上から電極層37の内側端面37a、さらには露出した非磁性中間層29上にかけて形成する。例えば露出した非磁性中間層29も全て除去し、フリー磁性層28表面を露出させたときは、第4保護層39をスペキュラー層として機能させることができる。例えば第4保護層39を10～20Å程度の膜厚のTaで形成し、このTa層を全て酸化させることで、第4保護層39をスペキュラー層として機能させることができる。第4保護層39を形成することで電極層37と、後工程で形成される上部シールド層間の電氣的な絶縁性を高めることができる。

【0192】

図3に示された磁気検出素子の製造方法を説明する。

図3に示された磁気検出素子の製造方法においても、図6から図9工程とほぼ同じ工程を用いる。異なる点は、図6工程において第2強磁性層32が形成されず、第2反強磁性層31上にTa層61aが直接積層されることである。本実施の形態において、Ta層61aは図6から図9に示された第1保護層34と同じ働きをする。なお、第2反強磁性層31上にTa層61aの間に第1ストッパ層33と同じCrからなる層を形成してもよい。

【0193】

また、図9工程で第2反強磁性層31の素子中央部を削った後、図9に示す製造途中の磁気検出素子の素子ハイト長さ（図示Y方向への長さ寸法）を規定するため、磁気検出素子を所定形状にパターニングして素子ハイト奥側を除去し、その除去された部分に Al_2O_3 などで形成された絶縁層（これをバックフィルギャップ層とも呼ぶ）を形成する。

【0194】

さらに、図 1 4 に示す工程で、T a 層 6 1 a 上から T a 層 6 1 a 及び第 2 反強磁性層 3 1 の内側端面 6 1 a 1、3 1 b 上、さらには素子の中央に残された第 2 反強磁性層 3 1 a 上にかけて下地層 6 1 b、硬磁性材料からなる第 2 強磁性層 6 0、第 2 ストップ層 3 5、第 2 保護層 3 6 を形成する。さらに、第 2 保護層 3 6 上に電極層 3 7 を形成し、電極層 3 7 上に第 3 保護層 3 8 を形成する。

【 0 1 9 5 】

第 2 強磁性層 6 0 は C o P t、C o C r P t などによって形成される。なお、図 1 0 工程と同様に第 2 ストップ層 3 5 と電極層 3 7 の間に元素拡散が生じない場合には第 2 保護層 3 6 を設けなくてもよい。

【 0 1 9 6 】

また図 1 4 工程でも、電極層 3 7 のハイト側端面は、その下に形成された基板 2 0 から第 2 反強磁性層 3 1 までの多層膜のハイト側端面よりもさらにハイト方向（図示 Y 方向）に長く延ばして形成することができる。これにより素子抵抗を低下させて、再生出力の大きい磁気検出素子を製造することが可能である。

【 0 1 9 7 】

次に図 1 4 に示す工程では、第 3 保護層 3 8 上にトラック幅方向（図示 X 方向）に所定の間隔 T 4 が開けられたマスク層 5 2 を形成する。このマスク層 5 2 間に開けられた間隔 T 4 のトラック幅方向への中心が素子のトラック幅方向への中心と一致するように、マスク層 5 2 をアライメント形成する。マスク層 5 2 は、図 1 1 工程と同様に C r 層で形成している。なおマスク層 5 2 を 1 0 0 Å ~ 5 0 0 Å 程度の膜厚で形成することが好ましい。

【 0 1 9 8 】

またマスク層 5 2 のトラック幅方向（図示 X 方向）に開けられた間隔 T 4 は、第 2 反強磁性層 3 1 の内側端面 3 1 b の下面間のトラック幅方向における間隔 C よりも狭くすることが好ましいが、電極層 3 7 の両側端面が傾斜面あるいは湾曲面で形成されるようにエッチングされる場合には、この限りでない。

【 0 1 9 9 】

次に図 1 5 に示す工程では、マスク層 5 2 に覆われていない第 3 保護層 3 8 及び電極層 3 7（図 1 5 では点線で示されている）をエッチングで削り取っていく

。このエッチングには反応性イオンエッチング（R I E）を使用することが好ましい。エッチングガスとして、 CF_4 や C_3F_8 あるいはArと CF_4 の混合ガス、または C_3F_8 とArとの混合ガスを使用する。

【 0 2 0 0 】

図 1 5 に示す点線部分の第 3 保護層 3 8、電極層 3 7 及び第 2 保護層 3 6 を削り取ると、その下には第 2 ストップ層 3 5 の表面が現れるので、オーバーエッチングしても第 2 ストップ層 3 5 がすべて削り取られる心配はない。そしてオーバーエッチングすることで、電極層 3 7 の内側端面 3 7 a を下方から上方に向けて（図示 z 方向）徐々に電極層 3 7 間の間隔が広がる適切な傾斜面あるいは湾曲面として形成でき、また上記エッチングで現われた第 2 ストップ層 3 5 上に電極層 3 7 の一部が残らないようにすることができる。

【 0 2 0 1 】

次に、マスク層 5 2 間に現れた第 2 ストップ層 3 5、第 2 強磁性層 6 0、下地層 6 1 b をイオンミリングで削り、さらにその下に残された第 2 反強磁性層 3 1 a を削り、さらにその下に現われた第 1 強磁性層 3 0 をすべて除去してイオンミリングを止める。このイオンミリング時の削り込み量は S I M S 分析計によって制御することが可能である。特にこのイオンミリングは低エネルギーのイオンミリングを使用できる。削り込む層の膜厚が薄いからである。このためミリング制御を向上させることができ、第 1 強磁性層 3 0 をすべて除去した瞬間にミリングを止めることも精度良く行うことができる。

【 0 2 0 2 】

ここで低エネルギーのイオンミリングとは、ビーム電圧（加速電圧）が 1 0 0 0 V 未満のイオンビームを用いたイオンミリングであると定義される。例えば、1 0 0 V ～ 5 0 0 V のビーム電圧が用いられる。本実施の形態では、2 0 0 V の低ビーム電圧のアルゴン（Ar）イオンビームを用いている。

【 0 2 0 3 】

なお、イオンミリングで削り取られた第 1 強磁性層 3 0 下の非磁性中間層 2 9 をそのまま残しているが、一部削られてもよいし、全て削り取られフリー磁性層 2 8 の表面が露出してもよい。また、イオンミリングでマスク層 5 2 間に露出し

た第1強磁性層30がすべて除去されるが、一部残されていてもよい。なお、このイオンミリング工程によってマスク52はすべて除去される。

【0204】

このイオンミリング工程を終了すると、素子中央部ではフリー磁性層28上に第1強磁性層30が形成されていない形態となり、また素子両側端部であって素子中央部に近い領域Bではフリー磁性層28上に非磁性中間層29を介して第1強磁性層30が積層された人工フェリ構造となるが、第1強磁性層30上には反強磁性を有する膜厚の第2反強磁性層31は設けられておらず、さらに素子両側端部であって素子中央部から遠い領域Aではフリー磁性層28上に非磁性中間層29を介して第1強磁性層30が積層された人工フェリ構造となり、且つ第1強磁性層30上に膜厚の厚い第2反強磁性層31が積層された形態となる。

【0205】

なおこのイオンミリング工程によって、第1強磁性層30の内側端面30aと第2強磁性層60の内側端面60aが連続面上に形成される。すなわち第2強磁性層60が、第2反強磁性層31の上から、第2反強磁性層31の内側端面31bよりもトラック幅方向の中心方向へ延出形成された領域Bの第1強磁性層30上にかけて形成され、第2強磁性層60の内側端面60aと第1強磁性層30の内側端面30aの距離が短くなる。

【0206】

従って、第1強磁性層30と第2強磁性層60間の静磁結合が強くなり、前記静磁界がフリー磁性層28の素子中央部にいっそう入りこみにくくなる。その結果、フリー磁性層28の素子中央部の単磁区化状態をより確実に維持できるようになり、よりいっそうヒステリシスを小さくし、バルクハウゼンノイズの発生を抑えることができる。

【0207】

さらに、図3に示す第4保護層39を第3保護層38上から電極層37の内側端面37a、さらには露出した非磁性中間層29上にかけて形成する。例えば露出した非磁性中間層29も全て除去し、フリー磁性層28表面を露出させたときは、第4保護層39をスペキュラー層として機能させることができる。例えば第

4 保護層 39 を 10 ～ 20 Å 程度の膜厚の Ta で形成し、この Ta 層を全て酸化させることで、第 4 保護層 39 をスペキュラー層として機能させることができる。第 4 保護層 39 を形成することで電極層 37 と、後工程で形成される上部シールド層間の電氣的な絶縁性を高めることができる。

【0208】

最後に、磁気検出素子をトラック幅方向の磁界中におき、常温で第 2 強磁性層 60 をトラック幅方向に着磁すると図 3 に示された磁気検出素子を得ることができる。第 2 強磁性層 60 を常温で着磁する工程は、第 2 反強磁性層 31 と第 1 強磁性層 30 の間の交換結合磁界に影響を及ぼさない。従って、フリー磁性層 28 の単位面積当たりの磁気モーメントが、第 1 強磁性層 30 の単位面積当たりの磁気モーメントより大きくても、小さくてもよく、第 1 強磁性層 30 の磁化と第 2 強磁性層 60 の磁化を反平行方向にするように、前記着磁を施せばよい。

【0209】

なお、図 6 と同様の工程において、第 2 反強磁性層 31 の上に非磁性層 61、第 2 強磁性層 60 をベタ膜成膜し、図 9 と同様の工程において第 2 強磁性層 60 と第 2 反強磁性層 31 の素子中央部をけずった後、電極層 37 を形成する製法を用いると、硬磁性材料からなる第 2 強磁性層 60 が第 2 反強磁性層 31 の反強磁性を発揮する膜厚を有する領域 A にのみ積層される磁気検出素子を得ることができる。

【0210】

図 4 に示された磁気検出素子の製造方法を説明する。

図 4 に示された磁気検出素子の製造方法も、第 2 反強磁性層 31 の素子中央部を削り、バックフィルギャップ層を形成するまでの工程は、図 3 に示される磁気検出素子の製造方法と同じである。

【0211】

次に図 16 に示す工程で、Ta 層 61a 上から Ta 層 61a 及び第 2 反強磁性層 31 の内側端面 61a1、31b 上、さらには素子の中央に残された第 2 反強磁性層 31a 上にかけて下地層 61b、軟磁性材料からなる第 2 強磁性層 62、第 3 反強磁性層 63、第 2 ストップ層 35、第 2 保護層 36 を形成する。さらに

、第2保護層36上に電極層37を形成し、電極層37上に第3保護層38を形成する。

【0212】

第2強磁性層62はCoFe、NiFeなどによって形成される。第3反強磁性層63を形成するための反強磁性材料は、第1反強磁性層22及び第2反強磁性層31を形成する反強磁性材料と同じである。なお、図10工程と同様に第2ストッパ層35と電極層37の間に元素拡散が生じない場合には第2保護層36を設けなくてもよい。

【0213】

また図16工程でも、電極層37のハイト側端面は、その下に形成された基板20から第2反強磁性層31までの多層膜のハイト側端面よりもさらにハイト方向（図示Y方向）に長く延ばして形成することができる。これにより素子抵抗を低下させて、再生出力の大きい磁気検出素子を製造することが可能である。

【0214】

次に、第3保護層38上にトラック幅方向（図示X方向）に所定の間隔T4が開けられたマスク層52を形成する。このマスク層52間を開けられた間隔T4のトラック幅方向への中心が素子のトラック幅方向への中心と一致するように、マスク層52をアライメント形成する。マスク層52は、図11工程と同様にCr層で形成している。なおマスク層52を100Å～500Å程度の膜厚で形成することが好ましい。

【0215】

次に第3の磁場中アニールを施す。このときの磁場方向は、トラック幅方向（図示X方向）である。なおこの第3の磁場中アニールは、第3の印加磁界を、第1反強磁性層22の交換異方性磁界及び第2反強磁性層31の交換異方性磁界よりも小さく、熱処理温度を、第1反強磁性層22及び第2反強磁性層31のブロッキング温度よりも低くする。これによって、第1反強磁性層22と第2反強磁性層31を共に、上記したPtMn合金やPtMnX合金等で形成しても、第1反強磁性層22及び第2反強磁性層31の交換異方性磁界の方向を変化させることなく第3反強磁性層63の交換異方性磁界をトラック幅方向（図示X方向）に

向けることができる。なお第3の熱処理温度は例えば250℃であり、磁界の大きさは24 (kA/m)である。

【0216】

第3の磁場中アニールによって、第3反強磁性層63は適切に規則化変態し、第3反強磁性層63と第2強磁性層62間に適切な大きさの交換結合磁界が発生する。

【0217】

上記のように、第3の磁場中アニールを施す製造方法であれば、フリー磁性層28の単位面積当たりの磁気モーメントの大きさと、第1強磁性層30の単位面積当たりの磁気モーメントの大きさの関係は任意でよい。

【0218】

なお、フリー磁性層28の単位面積当たりの磁気モーメントが、第1強磁性層30の単位面積当たりの磁気モーメントより大きくなっているのであれば、図6工程における前記第2の磁場中アニールを省略し、第1強磁性層30と第2反強磁性層31の間に交換結合磁界を発生させないまま、第2強磁性層62及び第3反強磁性層63の積層を行い、前記第2の磁場中アニール条件と同じ条件の磁場中アニールを一回行うだけにしてもよい。

【0219】

例えば、フリー磁性層28と第1強磁性層30を同じ組成の軟磁性材料によって形成し、しかもフリー磁性層28の膜厚 t_1 を第1強磁性層30の膜厚 t_2 より大きくする。

【0220】

そして、磁場方向をトラック幅方向(図示X方向)にし、印加磁界を、第1反強磁性層22の交換異方性磁界よりも小さく、またフリー磁性層28及び第1強磁性層30のスピンフロップ磁界よりも小さく、しかも熱処理温度を、第1反強磁性層22のブロッキング温度よりも低くした条件下でアニールする。この熱処理温度は例えば250℃であり、磁界の大きさは24 (kA/m)である。

【0221】

これによって、第1反強磁性層22、第2反強磁性層31、及び第3反強磁性

層 6 3 を共に、上記した P t M n 合金や P t M n X 合金等で形成しても、第 1 反強磁性層 2 2 の交換異方性磁界の方向をハイト方向（図示 Y 方向）に向けたまま、第 2 反強磁性層 3 1 と第 1 強磁性層 3 0 間の交換異方性磁界をトラック幅方向（図示 X 方向）と反平行方向に、第 3 反強磁性層 6 3 と第 2 強磁性層 6 2 の交換異方性磁界をトラック幅方向に向けることができる。

【 0 2 2 2 】

これによってフリー磁性層 2 8 の磁化は、トラック幅方向（図示 X 方向）に固定される。一方、第 1 強磁性層 3 0 の磁化はフリー磁性層 2 8 との間で生じる R K K Y 相互作用による交換結合によってフリー磁性層 2 8 とは反平行（トラック幅方向と反平行方向：図示 X 方向と反平行方向）に磁化され固定される。

【 0 2 2 3 】

同時に、第 3 反強磁性層 6 3 と第 2 強磁性層 6 2 の間にも適切な大きさの交換結合磁界が発生し、第 2 強磁性層 6 2 の磁化がトラック幅方向に固定される。

【 0 2 2 4 】

このように、一回の磁場中アニールで、第 1 強磁性層 3 0 と第 2 強磁性層 6 2 の磁化を、互いに反平行になるように固定することもできる

次に図 1 7 に示す工程では、マスク層 5 2 に覆われていない第 3 保護層 3 8 及び電極層 3 7（図 1 7 では点線で示されている）をエッチングで削り取っていく。このエッチングには反応性イオンエッチング（R I E）を使用することが好ましい。エッチングガスとして、C F₄ や C₃F₈ あるいは A r と C F₄ の混合ガス、または C₃F₈ と A r との混合ガスを使用する。

【 0 2 2 5 】

図 1 7 に示す点線部分の第 3 保護層 3 8、電極層 3 7 及び第 2 保護層 3 6 を削り取ると、その下には第 2 ストップ層 3 5 の表面が現れる。

【 0 2 2 6 】

次に、マスク層 5 2 間に現れた第 2 ストップ層 3 5、第 3 反強磁性層 6 3、第 2 強磁性層 6 2、下地層 6 1 b をイオンミリングで削り、さらにその下に残された第 2 反強磁性層 3 1 a を削り、さらにその下に現われた第 1 強磁性層 3 0 をすべて除去してイオンミリングを止める。このイオンミリング時の削り込み量は S

I M S 分析計によって制御することが可能である。特にこのイオンミリングは前記低エネルギーのイオンミリングを使用できる。

【 0 2 2 7 】

なお、イオンミリングで削り取られた第 1 強磁性層 3 0 下の非磁性中間層 2 9 をそのまま残しているが、一部削られてもよいし、全て削り取られフリー磁性層 2 8 の表面が露出してもよい。また、イオンミリングでマスク層 5 2 間に露出した第 1 強磁性層 3 0 がすべて除去されるが、一部残されていてもよい。なお、このイオンミリング工程によってマスク 5 2 はすべて除去される。

【 0 2 2 8 】

このイオンミリング工程を終了すると、素子中央部ではフリー磁性層 2 8 上に第 1 強磁性層 3 0 が形成されていない形態となり、また素子両側端部であって素子中央部に近い領域 B ではフリー磁性層 2 8 上に非磁性中間層 2 9 を介して第 1 強磁性層 3 0 が積層された人工フェリ構造となるが、第 1 強磁性層 3 0 上には反強磁性を有する膜厚の第 2 反強磁性層 3 1 は設けられておらず、さらに素子両側端部であって素子中央部から遠い領域 A ではフリー磁性層 2 8 上に非磁性中間層 2 9 を介して第 1 強磁性層 3 0 が積層された人工フェリ構造となり、且つ第 1 強磁性層 3 0 上に膜厚の厚い第 2 反強磁性層 3 1 が積層された形態となる。

【 0 2 2 9 】

なおこのイオンミリング工程によって、第 1 強磁性層 3 0 の内側端面 3 0 a と第 2 強磁性層 6 2 の内側端面 6 2 a が連続面上に形成される。すなわち第 2 強磁性層 6 2 が、第 2 反強磁性層 3 1 の上から、第 2 反強磁性層 3 1 の内側端面 3 1 b よりもトラック幅方向の中心方向へ延出形成された領域 B の第 1 強磁性層 3 0 上にかけて形成され、第 2 強磁性層 6 2 の内側端面 6 2 a と第 1 強磁性層 3 0 の内側端面 3 0 a の距離が短くなる。

【 0 2 3 0 】

従って、第 1 強磁性層 3 0 と第 2 強磁性層 6 2 間の静磁結合が強くなり、前記静磁界がフリー磁性層 2 8 の素子中央部にいっそう入りこみにくくなる。その結果、フリー磁性層 2 8 の素子中央部の単磁区化状態をより確実に維持できるようになり、よりいっそうヒステリシスを小さくし、バルクハウゼンノイズの発生

を抑えることができる。

【0231】

さらに、図4に示す第4保護層39を第3保護層38上から電極層37の内側端面37a、さらには露出した非磁性中間層29上にかけて形成することにより図4に示された磁気検出素子を形成できる。なお、前述したように第4保護層39をスペキュラー層として機能させることができる。

【0232】

なお、図6と同様の工程において、第2反強磁性層31の上に、非磁性層61、第2強磁性層62及び第3反強磁性層63をベタ膜成膜し、図9と同様の工程において第3反強磁性層63、第2強磁性層62、第2反強磁性層31の素子中央部をけずった後、電極層37を形成する製法を用いると、軟磁性材料からなる第2強磁性層62が第2反強磁性層31の反強磁性を発揮する膜厚を有する領域Aにのみ積層される磁気検出素子を得ることができる。

【0233】

また図1及び図3に示す実施形態において、共に図9工程で、素子の中央に膜厚の薄い第2反強磁性層31aを残したが、第2反強磁性層31aを残すことで、その下の第1強磁性層30を図9工程時のイオンミリングから保護でき、また薄い膜厚で残された第2反強磁性層31aは、最終的に、第2反強磁性層31の内側端面31bよりもトラック幅方向の中心方向に延出形成された領域Bの第1強磁性層30上に、内側先端部31aとして残される。

【0234】

なお図2に示すC P P型の磁気検出素子を製造する場合には、図5ないし図16と同様の工程を用い、電極層を形成するときに、この電極層に代えて Al_2O_3 や SiO_2 などで形成された絶縁層を形成すればよい。なおC P P型の磁気検出素子を製造するには基板20を下部電極層とし、さらに各工程が終了した後、第4保護層39を成膜せず、その代わりに上部電極層を形成する。

【0235】

また本発明における磁気検出素子はハードディスク装置に内蔵される磁気ヘッドに装備されるほか磁気センサなどにも使用可能である。

【0236】

【実施例】

図1及び図3に示す形態の磁気検出素子を形成し、各磁気検出素子のヒステリシス、バルクハウゼンノイズ、再生出力、アシンメトリーについて調べた。

【0237】

比較例の磁気検出素子の膜構成を、シリコン基板／アルミナ（1000Å）／シードレイヤ21（ $(\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2})_{60}\text{Cr}_{40}$ （60Å））／第1反強磁性層22（ $\text{Pt}_{50}\text{Mn}_{50}$ （120Å））／固定磁性層23（ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （16Å）／ Ru （9Å）／ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （22Å））／非磁性材料層27（ Cu （21Å））／フリー磁性層28（ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （10Å）／ $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ （30Å）／ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （6Å））／非磁性中間層29（ Ru （9Å））／第1強磁性層30（ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （18Å））／第2反強磁性層（ $\text{Pt}_{50}\text{Mn}_{50}$ （200Å））／ Ta とした。

【0238】

また、図1に示す形態の磁気検出素子の膜構成を、シリコン基板／アルミナ（1000Å）／シードレイヤ21（ $(\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2})_{60}\text{Cr}_{40}$ （60Å））／第1反強磁性層22（ $\text{Pt}_{50}\text{Mn}_{50}$ （120Å））／固定磁性層23（ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （16Å）／ Ru （9Å）／ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （22Å））／非磁性材料層27（ Cu （21Å））／フリー磁性層28（ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （10Å）／ $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ （30Å）／ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （6Å））／非磁性中間層29（ Ru （9Å））／第1強磁性層30（ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （18Å））／第2反強磁性層（ $\text{Pt}_{50}\text{Mn}_{50}$ （200Å））／第2強磁性層32（ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （XÅ））／ Ta

【0239】

また、図3に示す形態の磁気検出素子の膜構成を、シリコン基板／アルミナ（1000Å）／シードレイヤ21（ $(\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2})_{60}\text{Cr}_{40}$ （60Å））／第1反強磁性層22（ $\text{Pt}_{50}\text{Mn}_{50}$ （120Å））／固定磁性層23（ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （16Å）／ Ru （9Å）／ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （22Å））／非磁性材料層27（ Cu （21Å））／フリー磁性層28（ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （10Å）／ $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ （30Å）／ $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ （6Å））／非磁性中間層29（ Ru （9Å））／

第1強磁性層30 ($\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ (18 Å)) / 第2反強磁性層 ($\text{Pt}_{50}\text{Mn}_{50}$ (200 Å)) / Ta層61a (Ta 10 Å) / 下地層61b (Cr 30 Å) / 第2強磁性層60 (CoPt (X Å)) / Ta

【0240】

まず、比較例の磁気検出素子のR-H曲線を図18に示す。比較例の磁気検出素子は、従来の技術欄で示された磁気検出素子の構造を有するものである。すなわち、第2反強磁性層の下でフリー磁性層の素子両端部と第1強磁性層が非磁性中間層を介した人工フェリ構造になっているが、第2反強磁性層の上に第2強磁性層が積層されてはいない構造である。なお、R-H曲線とは横軸に印加磁界H、縦軸に磁気検出素子の出力電圧Vをとったグラフである。磁気検出素子の出力電圧Vは、磁気検出素子の抵抗値の変化に応じて変化する。

【0241】

磁気検出素子にハイト方向(Y方向)の印加磁界Hを-8 (kA/m) から8 (kA/m) の間で変化させたときの、磁気検出素子の抵抗値を測定した。

【0242】

図18を見ると印加磁界Hが-1 (kA/m) から1 (kA/m) の間であるとき、ヒステリシスループLが生じている。また、印加磁界Hが-3 (kA/m) 付近でバルクハウゼンノイズNが発生している。

【0243】

次に、本発明の実施の形態である図1に示された磁気検出素子のR-H曲線を図19に示す。なお、CoFeからなる第2強磁性層32の膜厚は50 Åである。また、図3に示された磁気検出素子のR-H曲線を図20に示す。なお、CoPtからなる第2強磁性層60の膜厚は50 Åである。

【0244】

図19及び図20のいずれにも、目立つほどのヒステリシスループもバルクハウゼンノイズも発生していない。

【0245】

このように、本発明では、第2反強磁性層の上に第2強磁性層を積層することによって、第1強磁性層と第2強磁性層の間の静磁結合を発生させることができ

、第 1 強磁性層の内側端面から発生する静磁界がフリー磁性層の素子中央部に入りこむことを低減できることが実証された。つまり、本発明では、フリー磁性層の素子中央部の単磁区化状態を確実に維持できるので、ヒステリシスを小さくし、バルクハウゼンノイズの発生を抑えることができるのである。

【 0 2 4 6 】

次に、図 1 に示された磁気検出素子の第 2 強磁性層 3 2 の膜厚 X を変化させたときのヒステリシス、バルクハウゼンノイズ、再生出力、アシンメトリーについて調べた。

【 0 2 4 7 】

なお、ヒステリシスは、例えば図 1 8 に現れたようなヒステリシスループの面積を、RHカーブとヒステリシスループの中央線を結んだ線と、グラフの横軸に平行でRHカーブの下端部を通る直線と、グラフの縦軸に平行でRHカーブの上端部を通る直線に囲まれる領域の面積で割って規格化した値のパーセンテージで示される。

【 0 2 4 8 】

また、バルクハウゼンノイズの大きさは、印加磁界 H を -8 (kA/m) から 8 (kA/m) の間で変化させたときの電圧変化を ΔV とし、バルクハウゼンノイズによる電圧変化を J としたとき、 $(J/\Delta V) \times 100 \text{ (\%)}$ で示される。

【 0 2 4 9 】

アシンメトリーとは磁気検出素子の出力（再生波形）の対称性の指標であって、印加磁界 H を 0 (kA/m) から 8 (kA/m) の間で変化させたときの電圧変化量を V_+ 、印加磁界 H を 0 (kA/m) から -8 (kA/m) の間で変化させたときの電圧変化量を V_- としたときに、 $(V_+ - V_- / V_+ + V_-) \times 100 \text{ (\%)}$ で示される。アシンメトリーが 0 % に近くなる程、磁気検出素子の出力は対称性が良好であるといえる。

【 0 2 5 0 】

ヒステリシスの結果を図 2 1 に、バルクハウゼンノイズの結果を図 2 2 に、再生出力の結果を図 2 3 に、アシンメトリーの結果を図 2 4 に示す。

【 0 2 5 1 】

図 2 1 の結果から、第 2 反強磁性層 3 1 上に軟磁性材料 C o F e からなる第 2 強磁性層 3 2 が形成されるとき、第 2 強磁性層 3 2 の膜厚を厚くするにつれてヒステリシスが減少していき、膜厚 7 5 Å 付近で最小値をとる。

【 0 2 5 2 】

また、図 2 2 の結果から、第 2 強磁性層 3 2 の膜厚を厚くするにつれてバルクハウゼンノイズも減少し、ヒステリシスと同様に、膜厚 7 5 Å 付近で最小値をとる。

【 0 2 5 3 】

すなわち、第 2 強磁性層 3 2 の膜厚が厚くなると、第 1 強磁性層 3 0 と第 2 強磁性層 3 2 の間の静磁結合が強くなっていき、第 1 強磁性層の内側端面から発生する静磁界のうちフリー磁性層の素子中央部に入りこむ静磁界を低減できると考えられる。

【 0 2 5 4 】

なお、第 2 強磁性層 3 2 の膜厚が 7 5 Å を越えると、ヒステリシスは若干上昇する。これは、第 2 強磁性層 3 2 の膜厚が厚くなると第 2 反強磁性層 3 1 と第 2 強磁性層 3 2 間の交換異方性磁界が小さくなるために、第 2 強磁性層 3 2 の磁化の固定力が弱くなって、印加磁界によって第 2 強磁性層 3 2 の磁化が変動することが原因であると考えられる。

【 0 2 5 5 】

なお、図 2 3 の結果は、第 2 強磁性層 3 2 の膜厚を厚くすると、磁気検出素子の出力（最大電圧と最小電圧の差）が低下することを示している。これは、第 2 強磁性層 3 2 は、フリー磁性層 2 8 の磁区の乱れを抑えて単磁区化を安定させる機能を有するが、同時に、フリー磁性層 2 8 の磁化変動を抑制する働きも有していることを示している。しかし、実用上は磁気検出素子の出力が 1 0 0 0 μ V 以上あれば充分であり、図 2 1 から図 2 3 の結果を合わせると、ヒステリシスとバルクハウゼンノイズが最小になるように第 2 強磁性層 3 2 の膜厚を設定しても、実用的な出力を有する磁気検出素子を得られることがわかる。

【 0 2 5 6 】

また、第 2 強磁性層 3 2 の膜厚を厚くするとヒステリシスとバルクハウゼンノ

イズが低下するが、これによって、アシンメトリーも低減することが図 2 4 をみるとわかる。

【 0 2 5 7 】

本実施例の結果からは、第 2 強磁性層 3 2 の膜厚を $20\text{ \AA} \sim 90\text{ \AA}$ にすると、 $1000\text{ }\mu\text{m}$ 以上の出力を確保しつつ、ヒステリシス及びバルクハウゼンノイズを半分以下にできる。

【 0 2 5 8 】

ただし、磁気検出素子の出力、ヒステリシス及びバルクハウゼンノイズの値は、第 2 強磁性層 3 2 の膜厚だけに依存するのではなく、素子両側端部における第 2 反強磁性層 3 1 の膜厚 t_4 、第 1 強磁性層 3 0 の内側端面 3 0 a と第 2 強磁性層 3 2 の内側端面 3 2 a の水平距離 L_1 、第 1 強磁性層 3 0 の単位面積当たりの磁気モーメント M_{st} 、第 2 強磁性層 3 2 の飽和磁化 M_s にも依存する。

【 0 2 5 9 】

ここに示した実施例は、本発明の磁気検出素子の構造を有する磁気検出素子であれば、磁気検出素子の出力を実用的な水準に維持しつつ、ヒステリシス及びバルクハウゼンノイズを低減できることを実証するためのものである。従って、本発明の特許請求の範囲を限定するものではない。

【 0 2 6 0 】

なお、図 2 1 ないし図 2 4 に示されるデータの採取に用いた磁気検出素子の素子両側端部における第 2 反強磁性層 3 1 の膜厚 t_4 は 200 \AA 、第 1 強磁性層 3 0 の内側端面 3 0 a と第 2 強磁性層 3 2 の内側端面 3 2 a の水平距離 L_1 は $0.10\text{ }\mu\text{m}$ 、第 1 強磁性層 3 0 の単位面積当たりの磁気モーメント M_{st} は $3\text{ (T} \cdot \text{nm)}$ 、第 2 強磁性層 3 2 の飽和磁化は 1.8 (T) 、光学的トラック幅 T_w は $0.12\text{ }\mu\text{m}$ である。

【 0 2 6 1 】

図 2 5 ないし図 2 6 は、それぞれ図 3 に示された磁気検出素子の第 2 強磁性層 6 0 の膜厚 X を変化させたときのヒステリシス、バルクハウゼンノイズ、再生出力、アシンメトリーについて調べた結果である。

【 0 2 6 2 】

図 2 5 の結果から、第 2 反強磁性層 3 1 上に硬磁性材料 C o P t からなる第 2 強磁性層 6 0 が形成されるとき、第 2 強磁性層 6 0 の膜厚を厚くするにつれてヒステリシスが減少していき、膜厚 5 0 Å 付近で最小値をとる。

【 0 2 6 3 】

また、図 2 6 の結果から、第 2 強磁性層 6 0 の膜厚を厚くするにつれてバルクハウゼンノイズも減少し、ヒステリシスと同様に、膜厚 5 0 Å 付近で最小値をとる。

【 0 2 6 4 】

すなわち、硬磁性材料からなる第 2 強磁性層 6 0 の場合でも、第 2 強磁性層 6 0 の膜厚が厚くなると、第 1 強磁性層 3 0 と第 2 強磁性層 6 0 の間の静磁結合が強くなっていき、第 1 強磁性層 3 0 の内側端面 3 0 a から発生する静磁界のうちフリー磁性層 2 8 の素子中央部に入りこむ静磁界を低減できるものと考えられる。

【 0 2 6 5 】

なお、図 2 7 の結果は、第 2 強磁性層 6 0 の膜厚を厚くすると、磁気検出素子の出力（最大電圧と最小電圧の差）が低下することを示している。これは、第 2 強磁性層 6 0 は、フリー磁性層 2 8 の磁区の乱れを抑えて単磁区化を安定させる機能を有するが、同時に、フリー磁性層 2 8 の磁化変動を抑制する働きも有していることを示している。しかし、実用上は磁気検出素子の出力が 1 0 0 0 μ V 以上あれば充分であり、図 2 5 から図 2 6 の結果を合わせると、ヒステリシスとバルクハウゼンノイズが最小になるように第 2 強磁性層 6 0 の膜厚を設定しても、実用的な出力を有する磁気検出素子を得られることがわかる。

【 0 2 6 6 】

また、第 2 強磁性層 6 0 の膜厚を厚くするとヒステリシスとバルクハウゼンノイズが低下するが、これによって、アシンメトリーも低減することが図 2 8 をみるとわかる。

【 0 2 6 7 】

本実施例の結果からは、第 2 強磁性層 6 0 の膜厚を 3 0 Å ~ 6 0 Å にすると、1 0 0 0 μ m 以上の出力を確保しつつ、ヒステリシス及びバルクハウゼンノイズ

を半分以下にできることがわかる。

【0268】

ただし、磁気検出素子の出力、ヒステリシス及びバルクハウゼンノイズの値は、第2強磁性層60の膜厚だけ依存するのではなく、第1強磁性層30の内側端面30aと第2強磁性層60の内側端面60aの垂直距離 t_6 、第1強磁性層30の単位面積当たりの磁気モーメント $M_s t$ 、第2強磁性層60の残留磁化 M_r にも依存する。

【0269】

ここに示した実施例は、本発明の磁気検出素子の構造を有する磁気検出素子であれば、磁気検出素子の出力を実用的な水準に維持しつつ、ヒステリシス及びバルクハウゼンノイズを低減できることを実証するためのものである。従って、本発明の特許請求の範囲を限定するものではない。

【0270】

なお、図25ないし図28に示されるデータの採取に用いた磁気検出素子の第1強磁性層30の内側端面30aと第2強磁性層60の内側端面60aの垂直距離 t_6 は60Å、第1強磁性層30の単位面積当たりの磁気モーメント $M_s t$ は3 (T・nm)、第2強磁性層60の残留磁化 M_r は1 (T)、光学的トラック幅は0.12μmである。

【0271】

【発明の効果】

以上詳細に説明した本発明によれば、素子両側端部において、前記フリー磁性層と前記第1強磁性層が非磁性中間層を介して互いに磁化方向が反平行方向になるように磁氣的に結合する、いわゆる人工フェリ構造であり、前記フリー磁性層の素子両側端部の磁化が確実に固定される。従って、前記フリー磁性層の素子両側端部の磁化が外部磁界によって変動するサイドリーディングを防止することができる。

【0272】

さらに、前記第1強磁性層の内側端面に形成された表面磁荷によって静磁界が発生しても、前記第2反強磁性層の上に積層された前記第2強磁性層の磁化方向

が前記第 1 強磁性層の磁化方向に対して反平行方向であるため、前記静磁界は前記第 2 強磁性層に吸い込まれる。

【 0 2 7 3 】

従って、前記第 1 強磁性層から発生する静磁界が、前記フリー磁性層の素子中央部に入りこみにくくなる。その結果、前記フリー磁性層は安定した単磁区化状態を維持できるようになり、ヒステリシスを小さくし、バルクハウゼンノイズの発生を抑えることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 2】

本発明の第 2 の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 3】

本発明の第 3 の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 4】

本発明の第 4 の実施の形態である磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 5】

図 1 の形態の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図

【図 6】

図 5 の次に行なわれる一工程図、

【図 7】

図 6 の次に行なわれる一工程図、

【図 8】

図 7 の次に行なわれる一工程図、

【図 9】

図 8 の次に行なわれる一工程図、

【図 1 0】

図 9 の次に行なわれる一工程図、

【図 1 1】

図 1 0 の次に行なわれる一工程図、

【図 1 2】

図 1 1 の次に行なわれる一工程図、

【図 1 3】

図 1 2 の次に行なわれる一工程図、

【図 1 4】

図 3 の形態の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図

【図 1 5】

図 1 4 の次に行なわれる一工程図、

【図 1 6】

図 4 の形態の磁気検出素子の製造工程を示す一工程図

【図 1 7】

図 1 5 の次に行なわれる一工程図、

【図 1 8】

従来の磁気検出素子の R - H 曲線、

【図 1 9】

図 1 の形態の磁気検出素子の R - H 曲線、

【図 2 0】

図 3 の形態の磁気検出素子の R - H 曲線、

【図 2 1】

図 1 の形態の磁気検出素子の第 2 強磁性層 3 2 の膜厚とヒステリシスの関係を示すグラフ、

【図 2 2】

図 1 の形態の磁気検出素子の第 2 強磁性層 3 2 の膜厚とバルクハウゼンノイズの関係を示すグラフ、

【図 2 3】

図 1 の形態の磁気検出素子の第 2 強磁性層 3 2 の膜厚と出力の関係を示すグラフ

【図 2 4】

図 1 の形態の磁気検出素子の第 2 強磁性層 3 2 の膜厚とアシンメトリーの関係を示すグラフ、

【図 2 5】

図 3 の形態の磁気検出素子の第 2 強磁性層 6 0 の膜厚とヒステリシスの関係を示すグラフ、

【図 2 6】

図 3 の形態の磁気検出素子の第 2 強磁性層 6 0 の膜厚とバルクハウゼンノイズの関係を示すグラフ、

【図 2 7】

図 3 の形態の磁気検出素子の第 2 強磁性層 6 0 の膜厚と出力の関係を示すグラフ

【図 2 8】

図 3 の形態の磁気検出素子の第 2 強磁性層 6 0 の膜厚とアシンメトリーの関係を示すグラフ、

【図 2 9】

従来における磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【符号の説明】

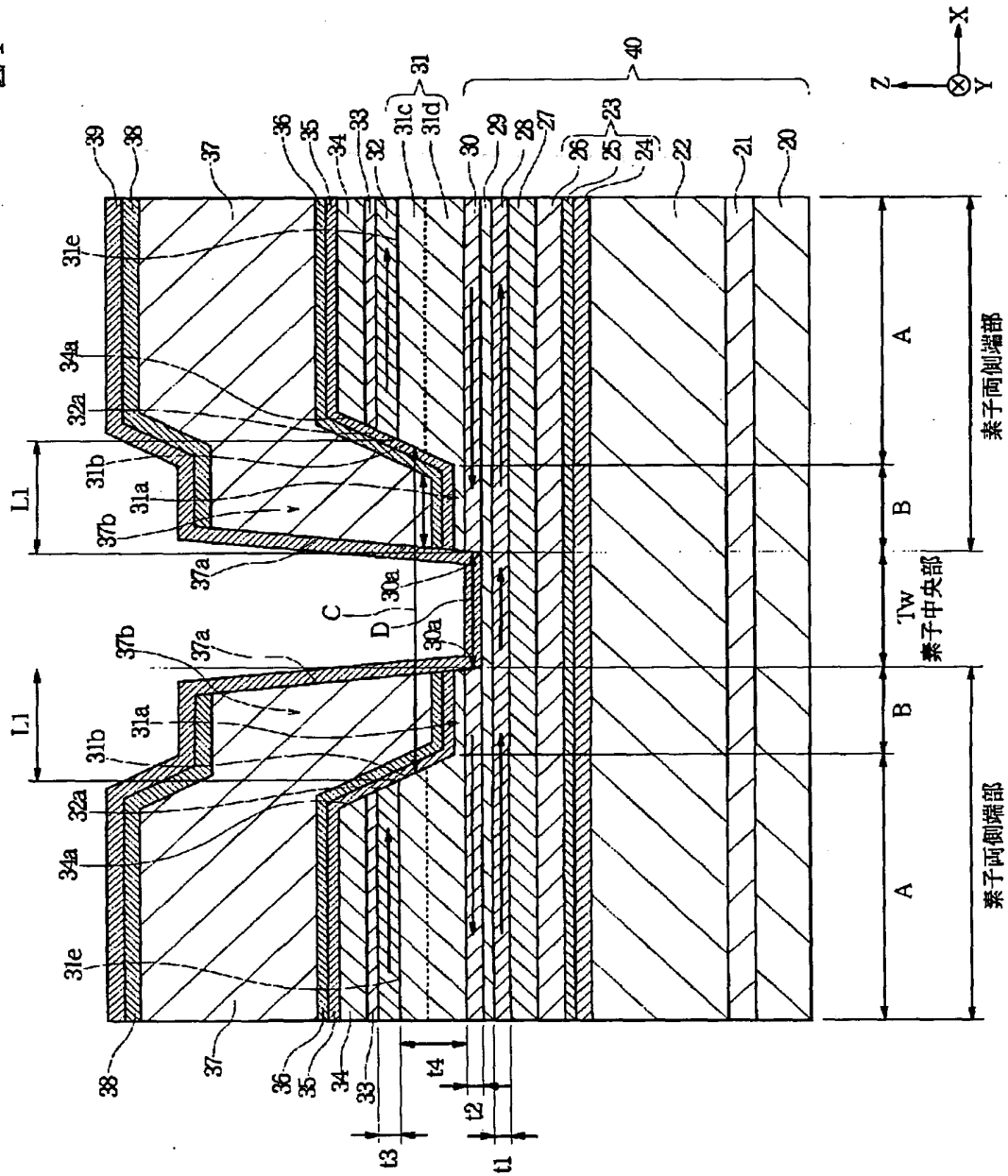
- 2 0 基板
- 2 1 シードレイヤ
- 2 2 第 1 反強磁性層
- 2 3 固定磁性層
- 2 7 非磁性材料層
- 2 8 フリー磁性層
- 2 9 非磁性中間層
- 3 0 第 1 強磁性層

- 3 1 第 2 反強磁性層
- 3 2、6 0、6 2 第 2 強磁性層
- 3 3 第 1 ストップ層
- 3 4 第 1 保護層
- 3 5、4 4 第 2 ストップ層
- 3 6、4 5 第 2 保護層
- 3 7 電極層
- 3 8 第 3 保護層
- 3 9 第 4 保護層
- 4 0 多層膜
- 4 1、4 7、4 8 絶縁層
- 4 2 上部電極層
- 5 0 非磁性層
- 5 1、5 2 マスク層
- 6 1 非磁性層
- 6 3 第 3 反強磁性層

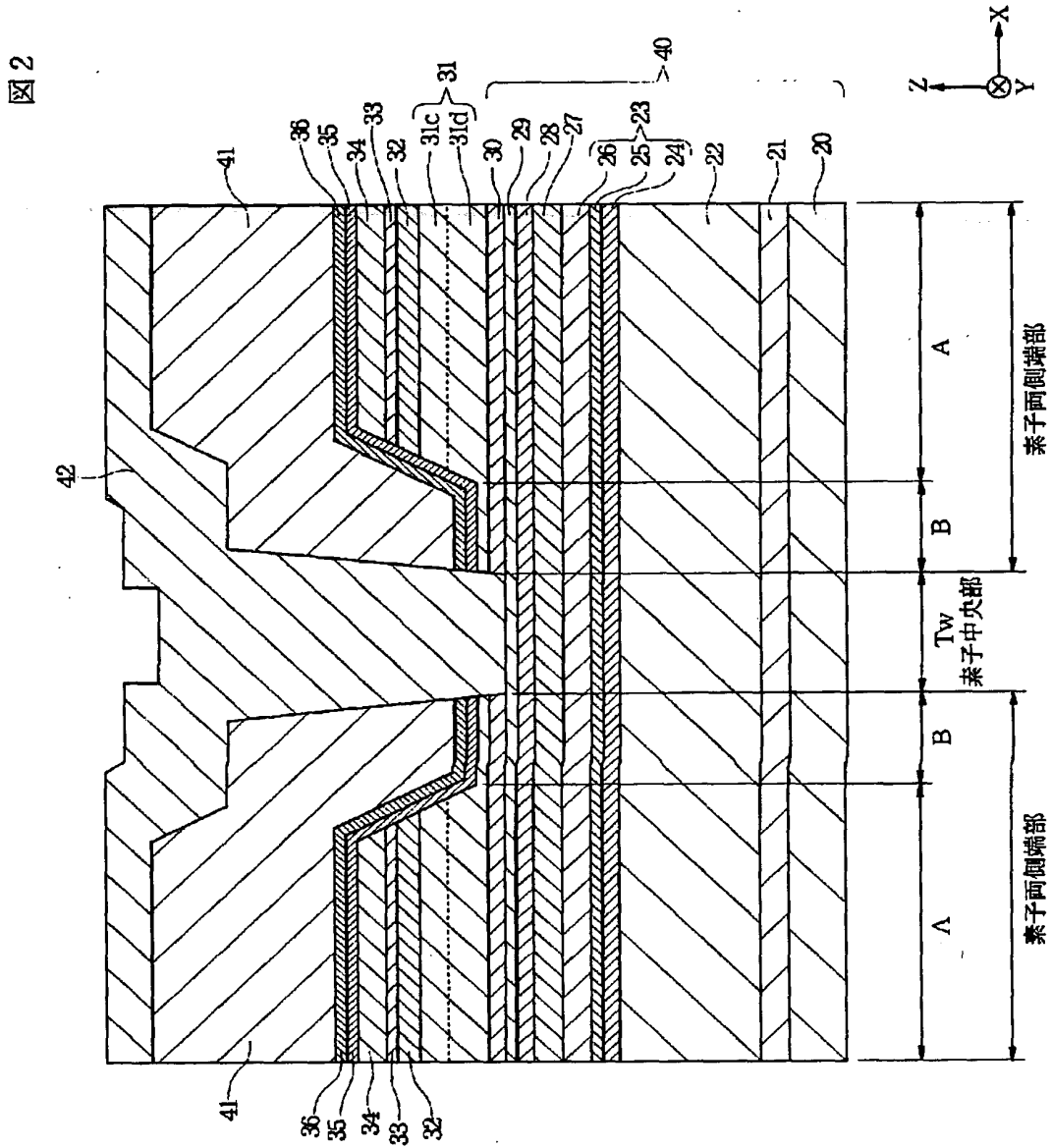
【書類名】 図面

【図 1】

図 1

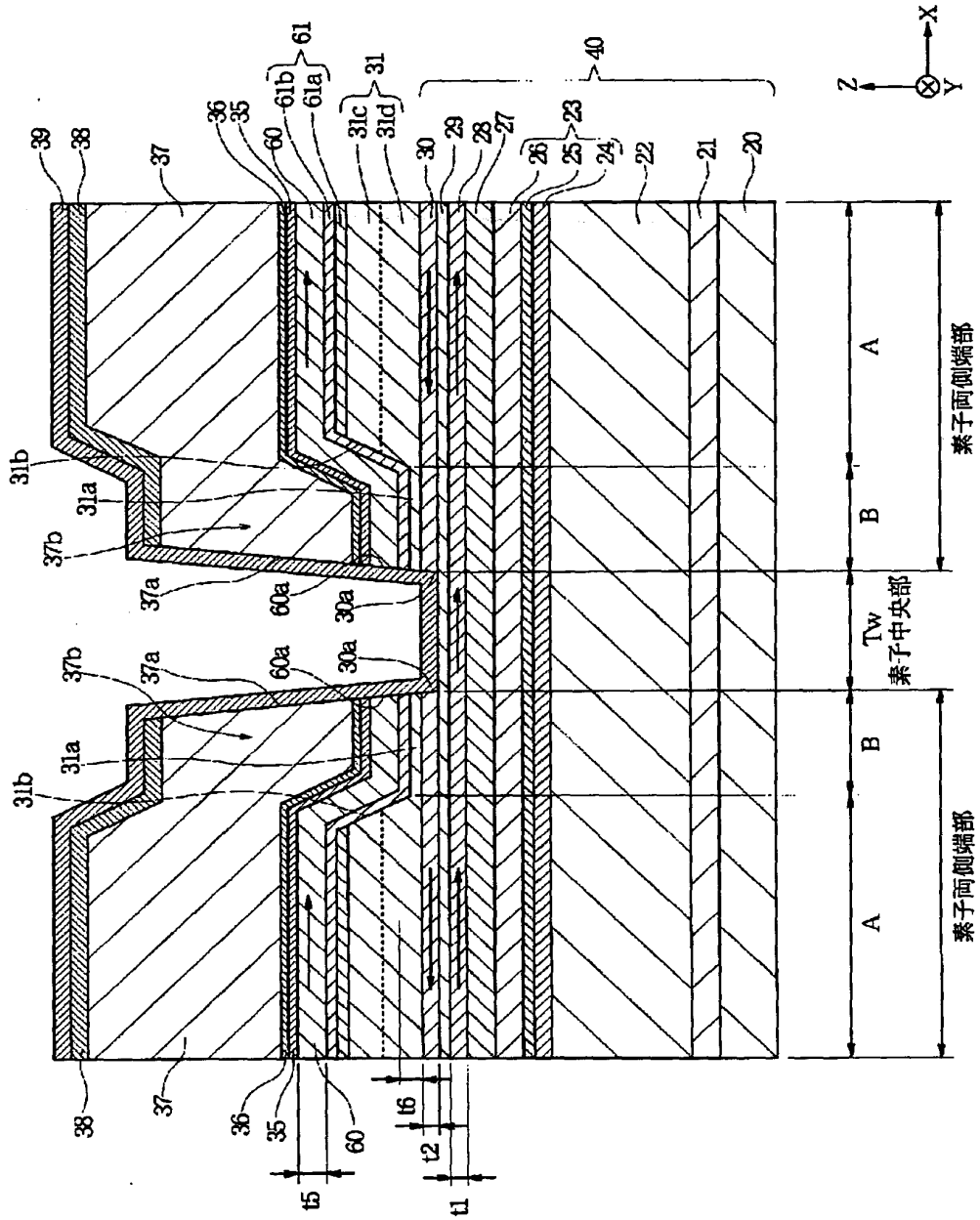


【図 2】

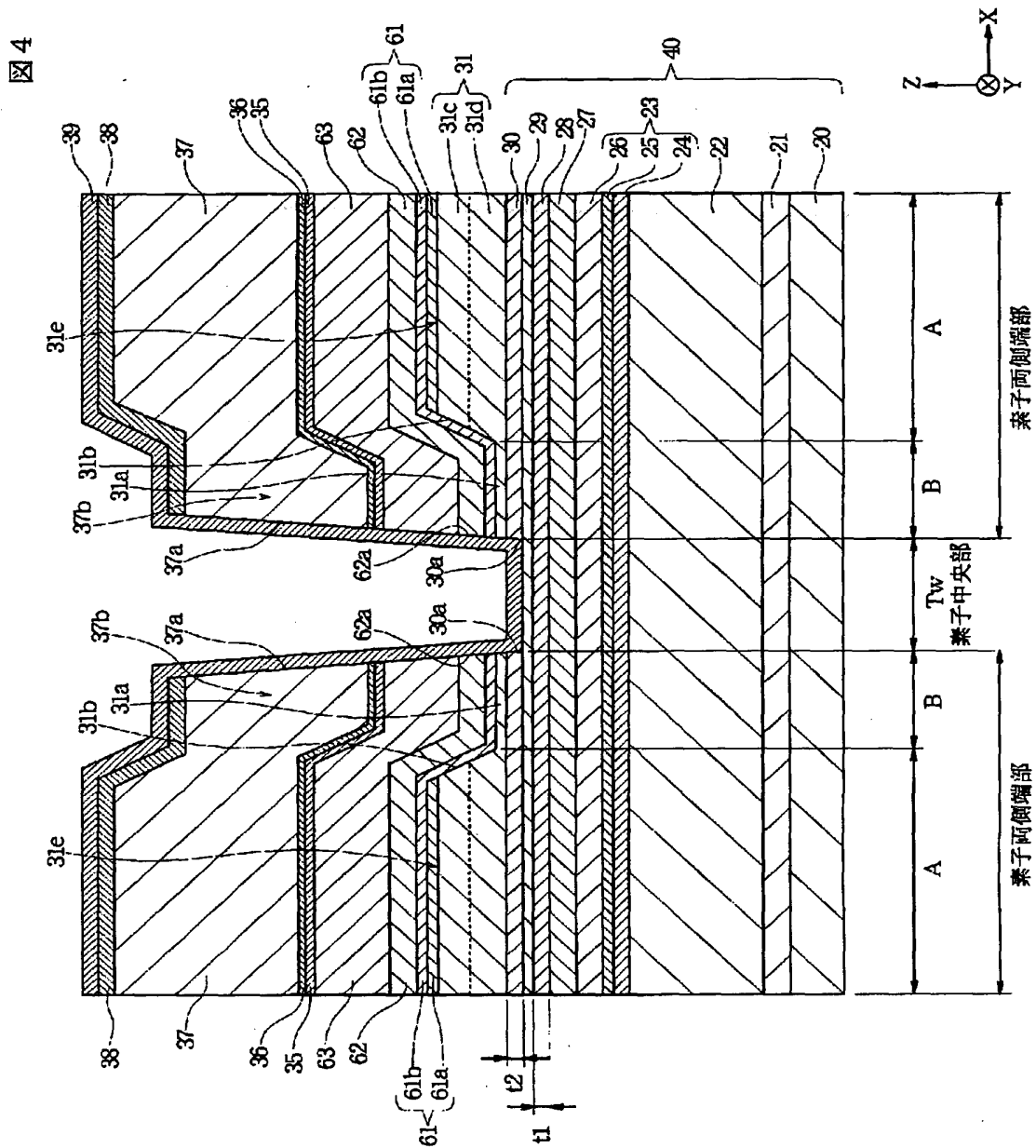


【図3】

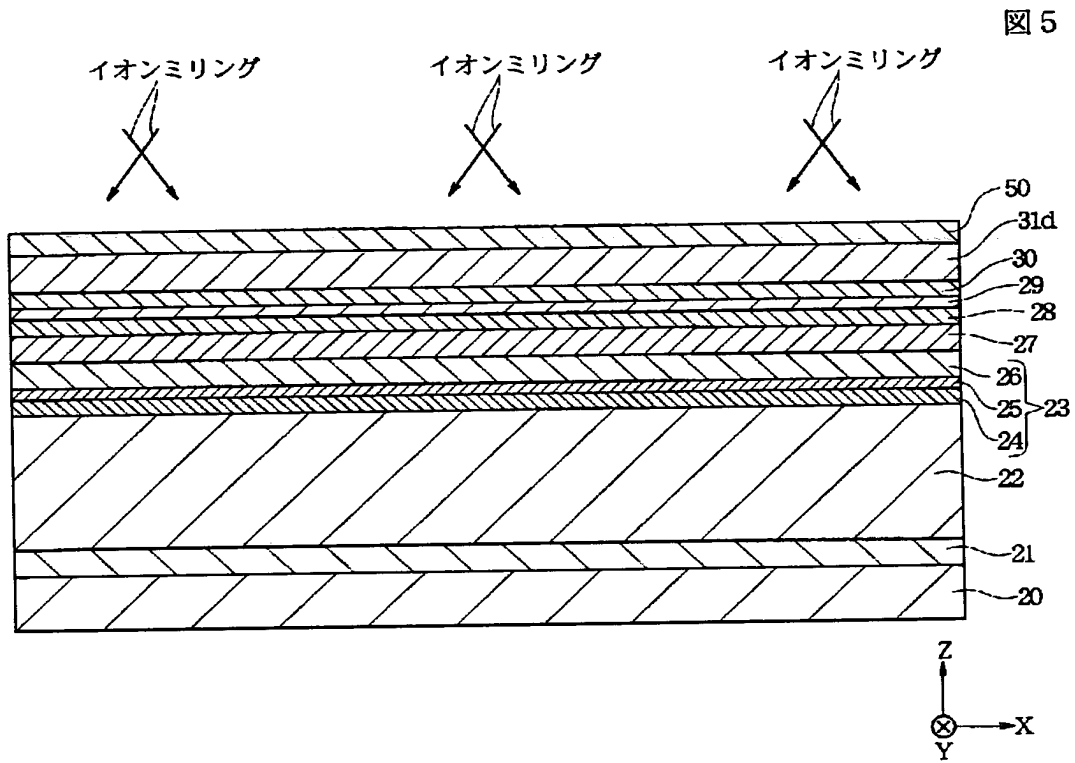
図3



【図4】

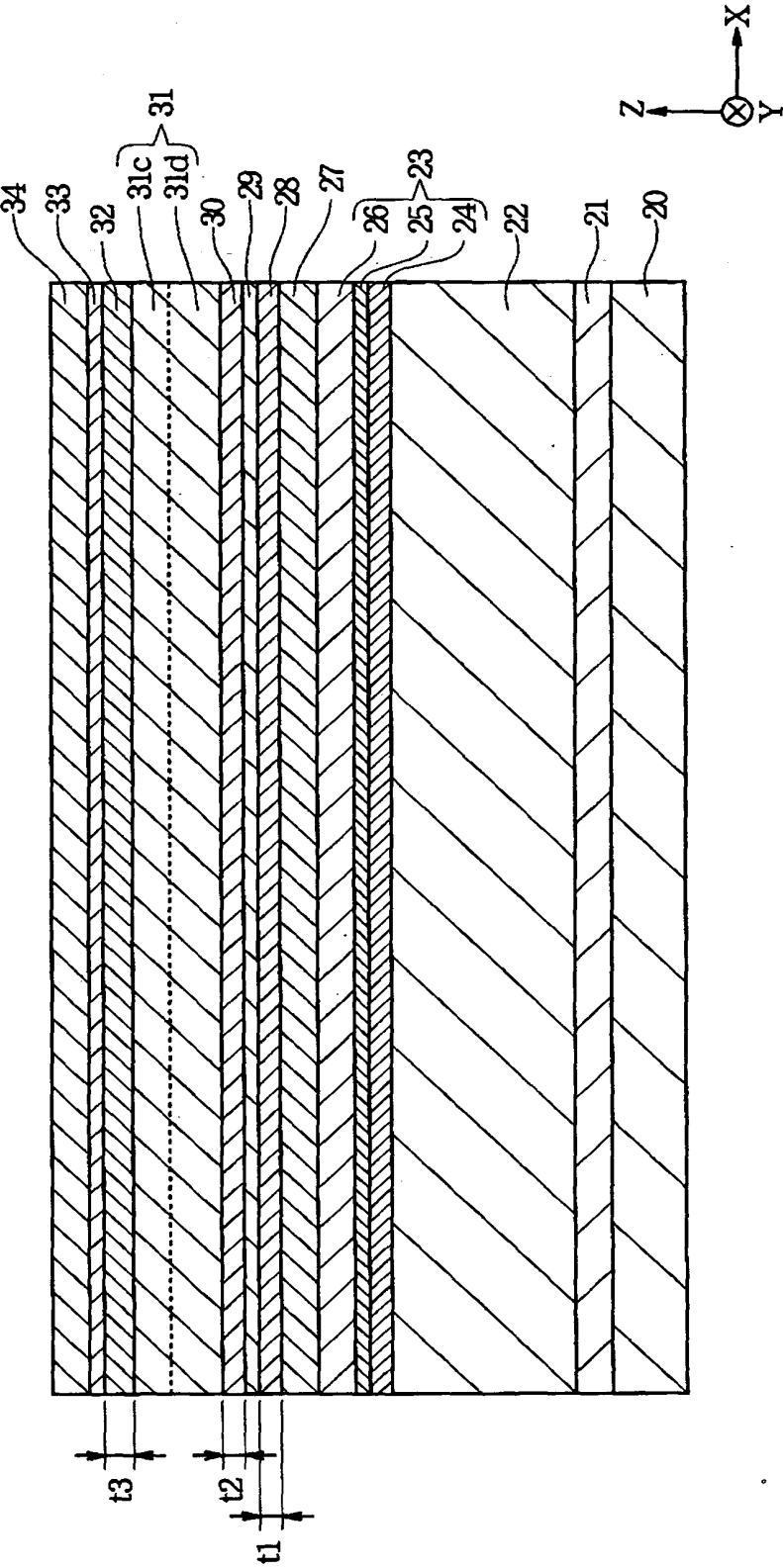


【図 5】



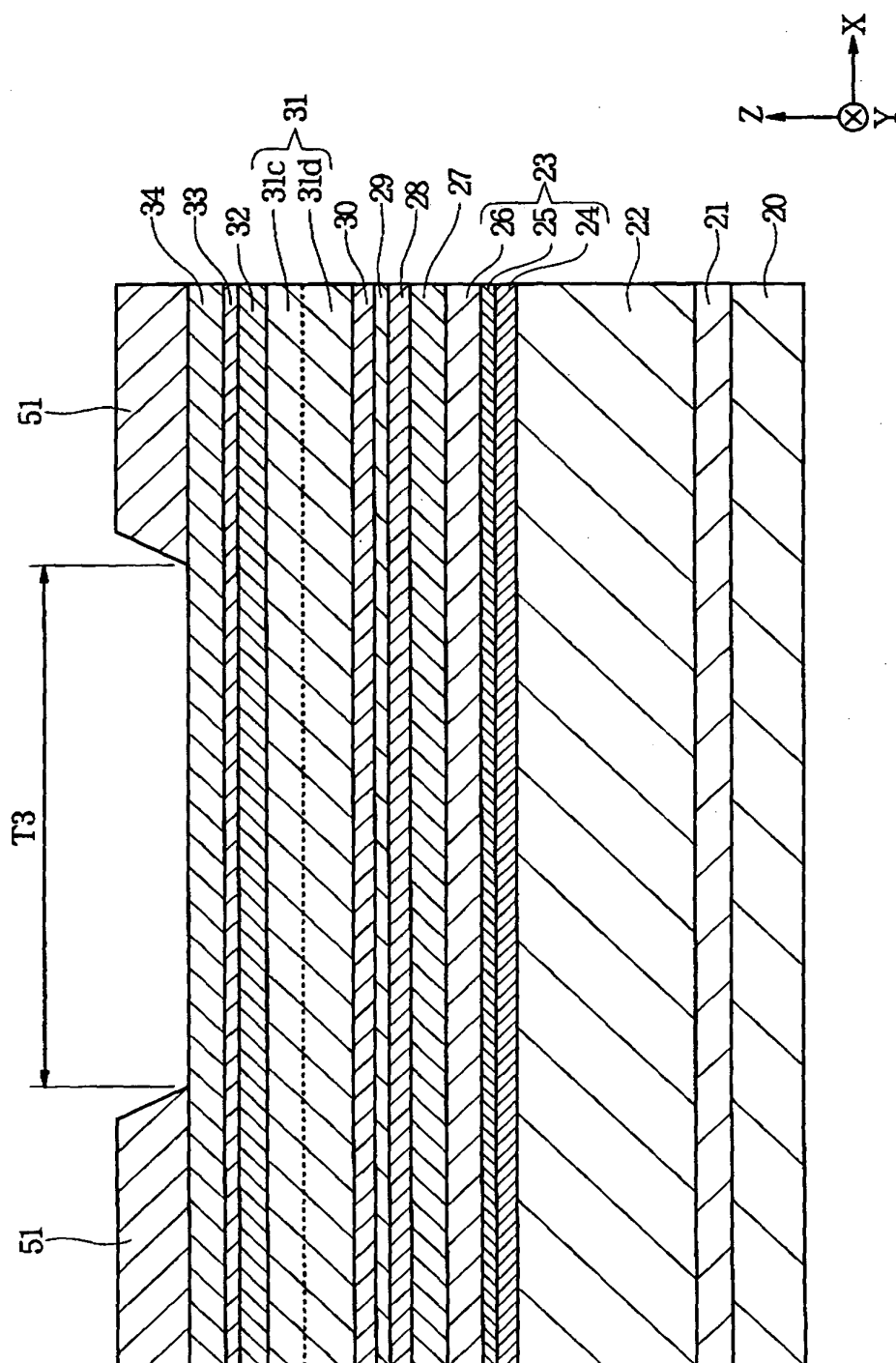
【図 6】

図 6

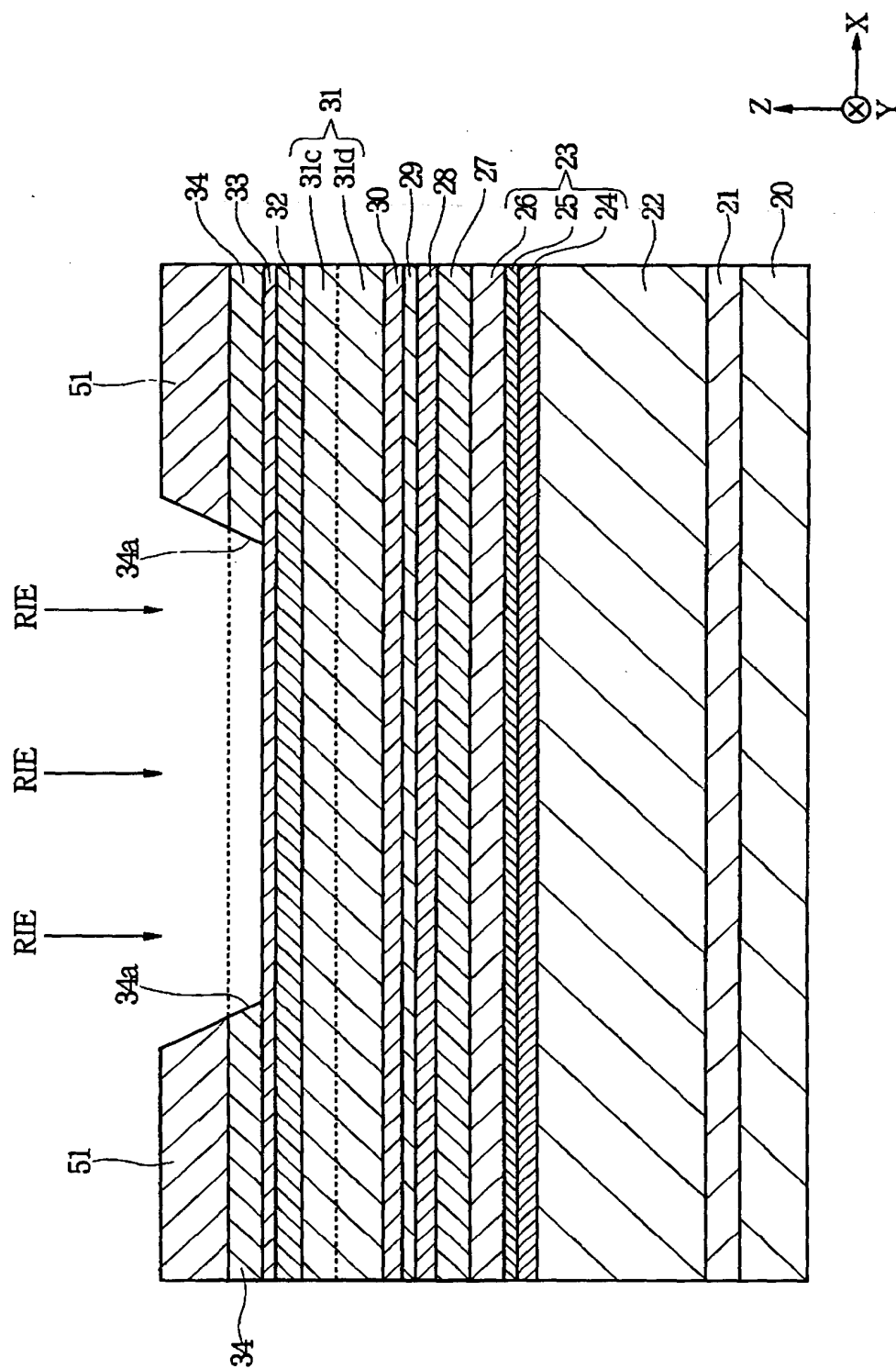


【図 7】

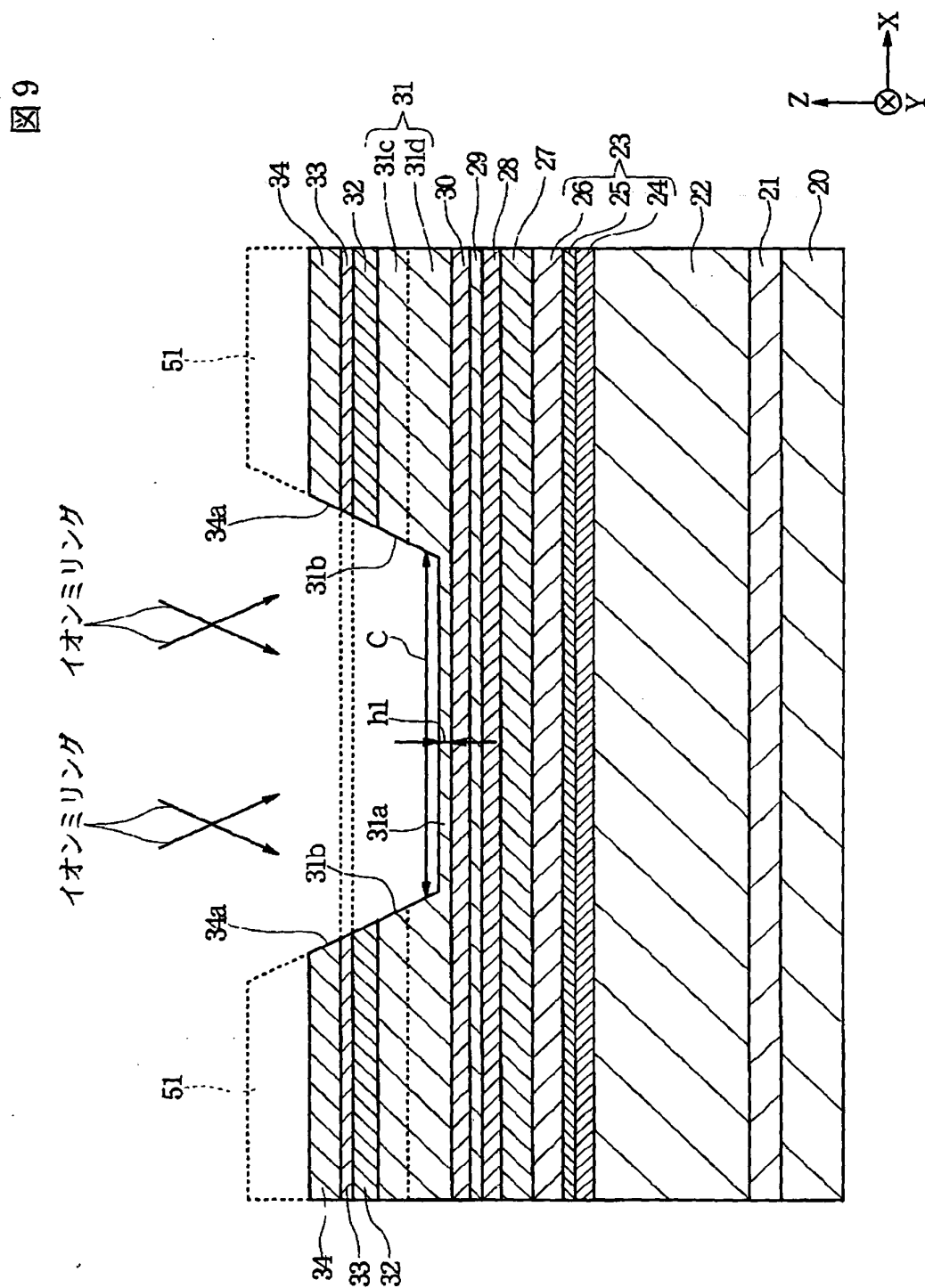
図 7



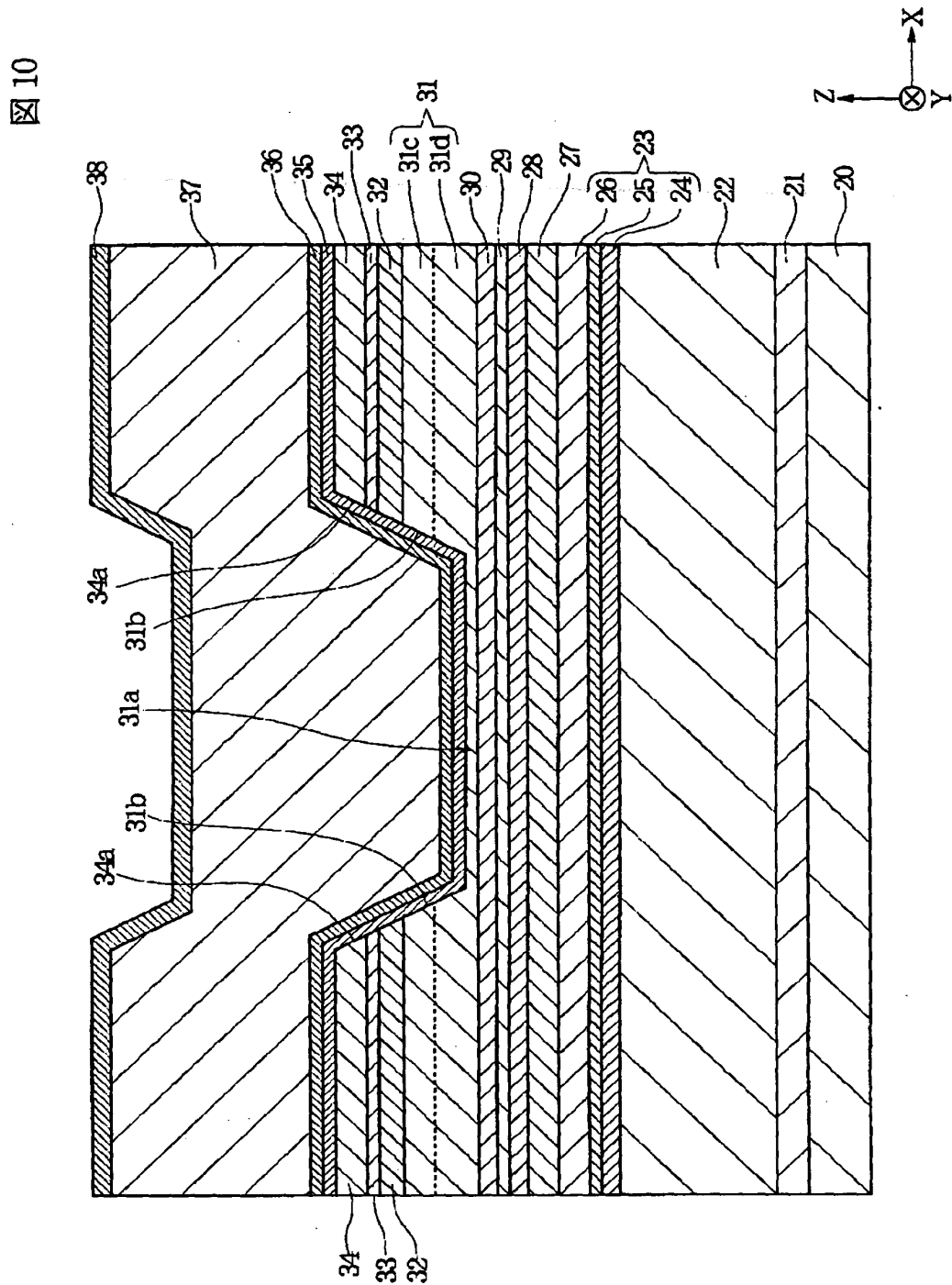
【图 8】



【図9】

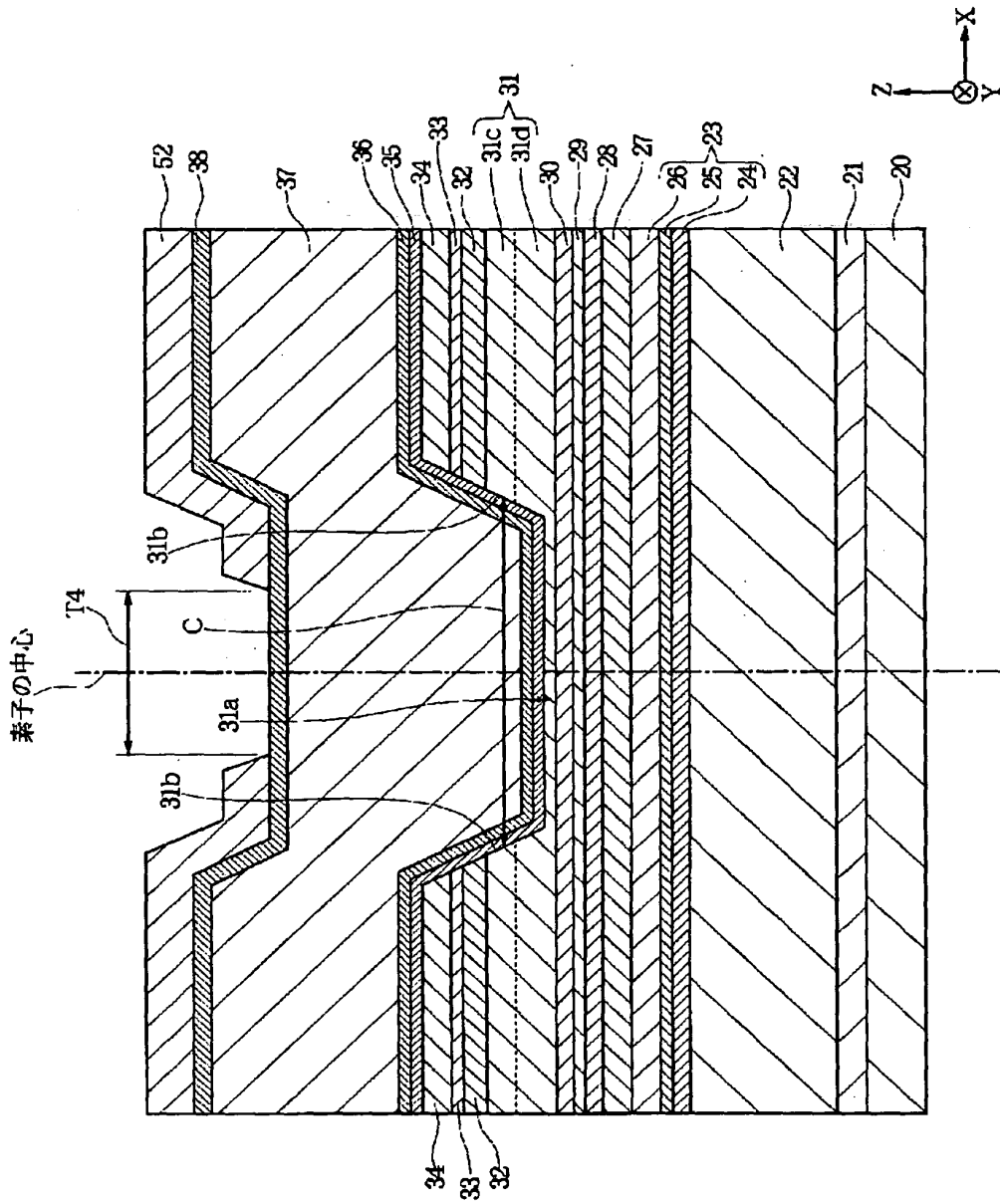


【圖 10】



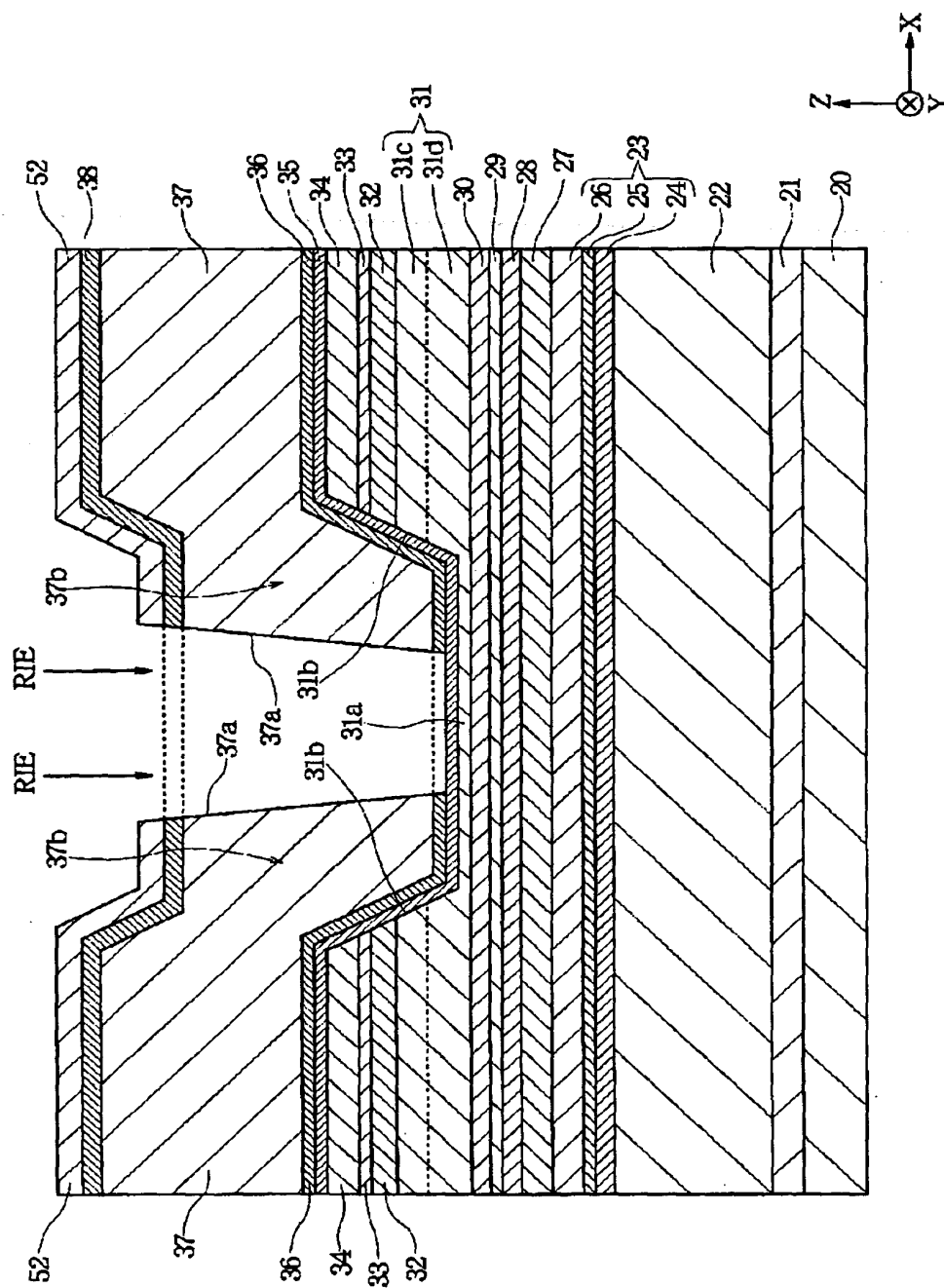
【図 11】

図 11



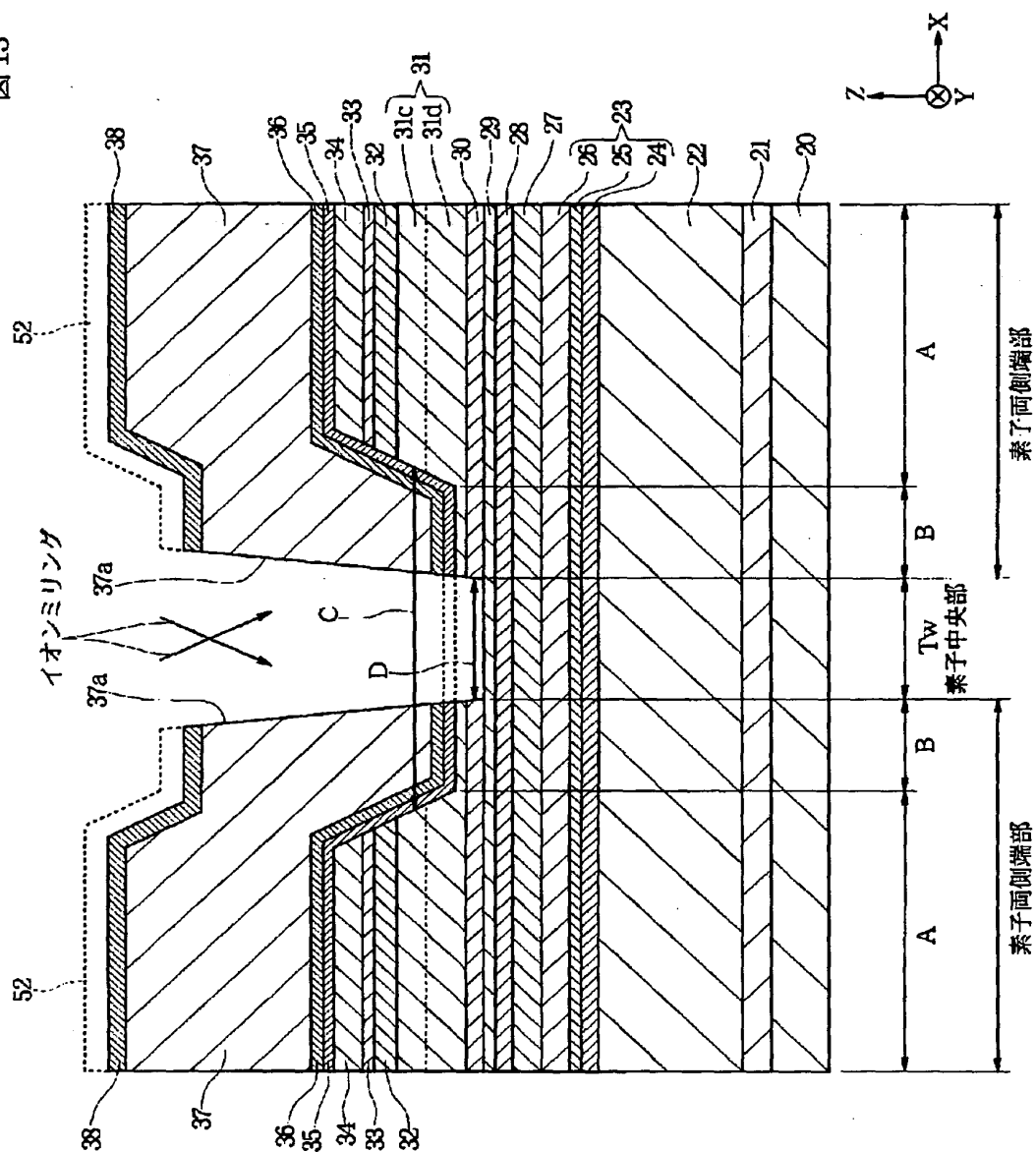
【図12】

図12



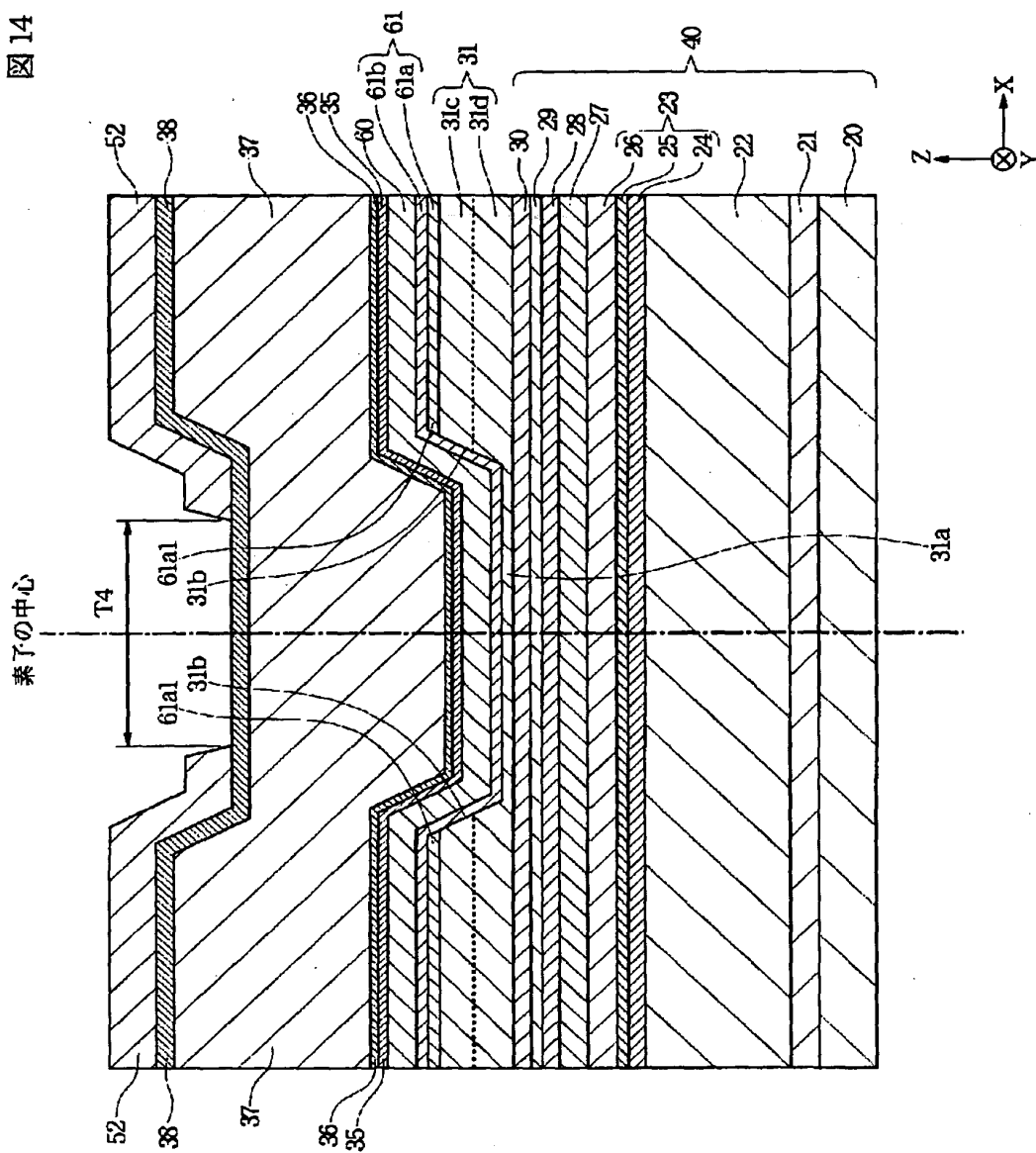
【図13】

図13



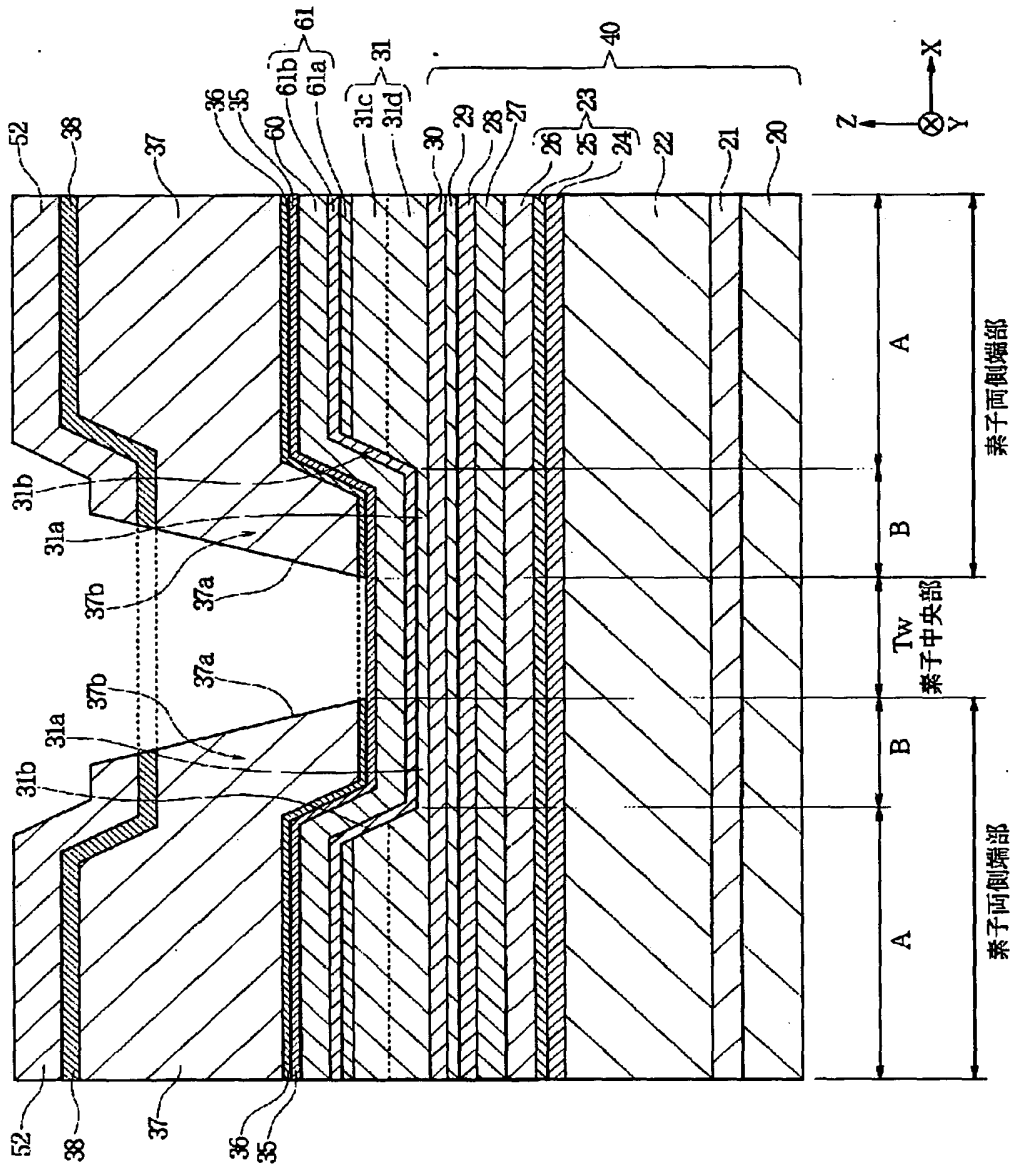
【図14】

図14

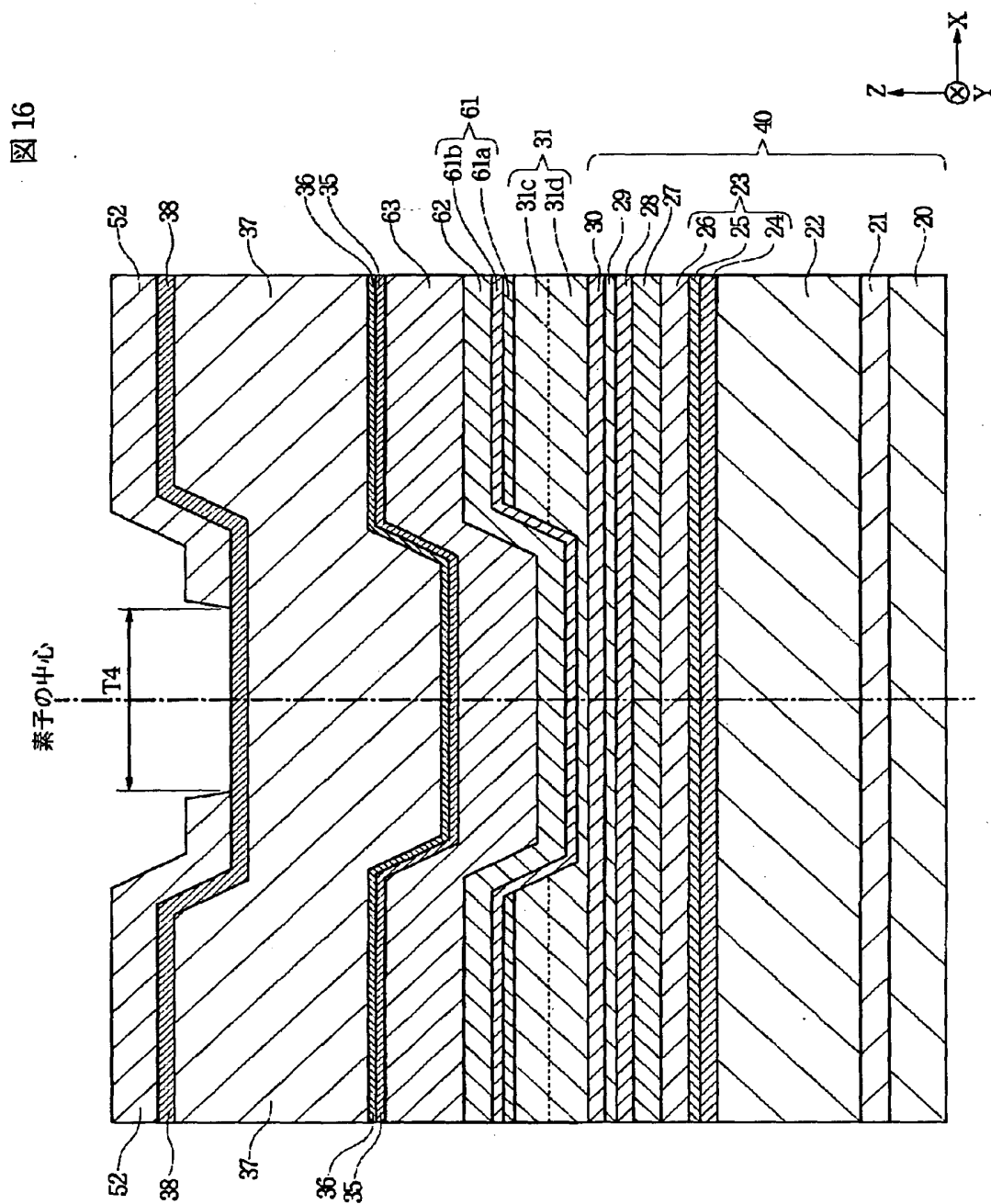


【図 15】

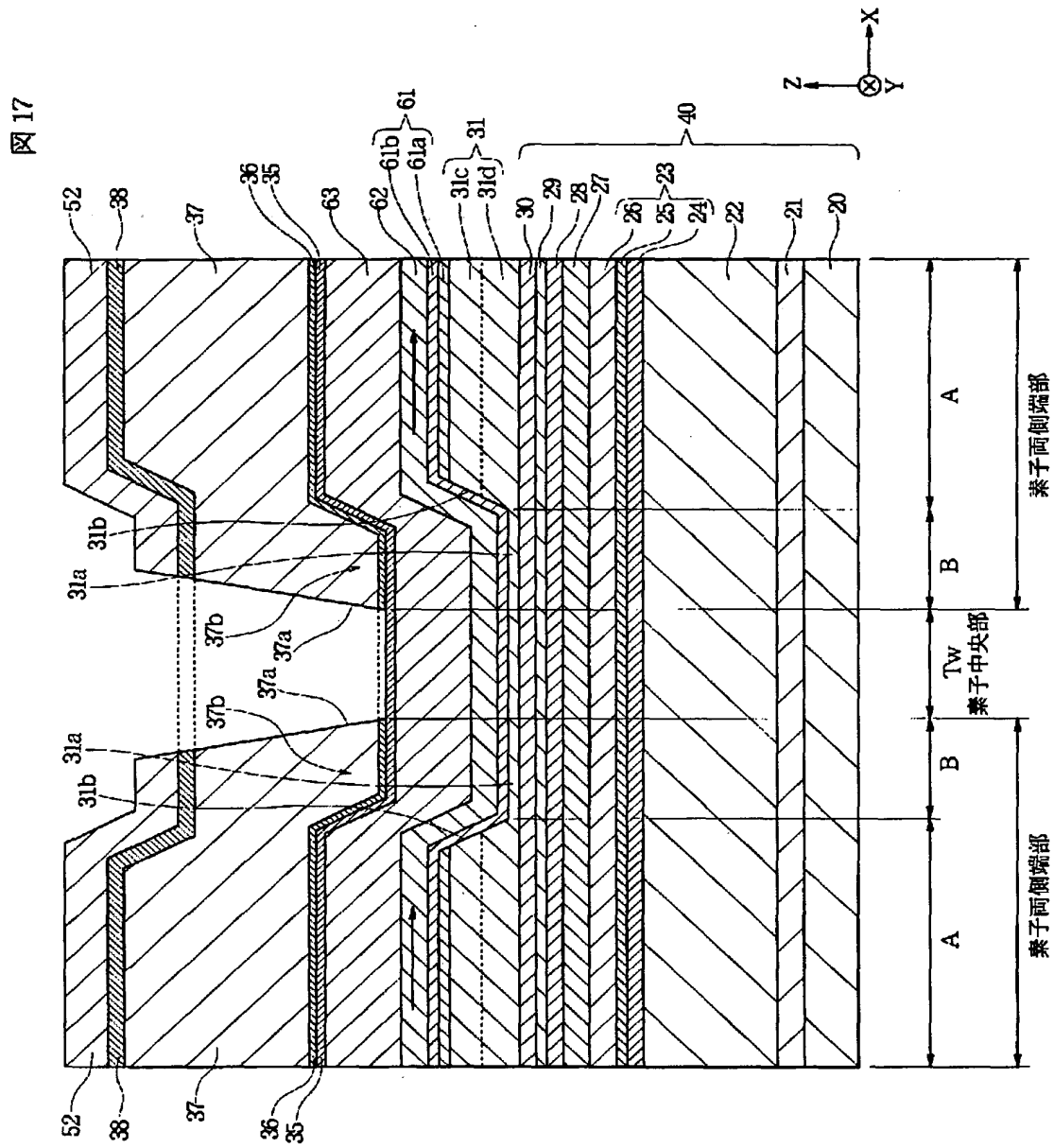
図 15



【図 16】

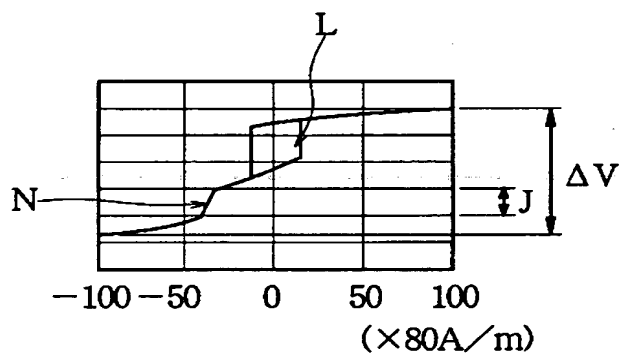


【図 17】



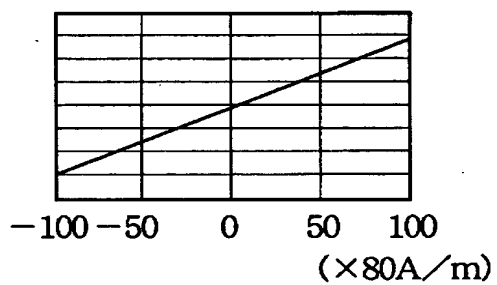
【図 1 8】

図 18



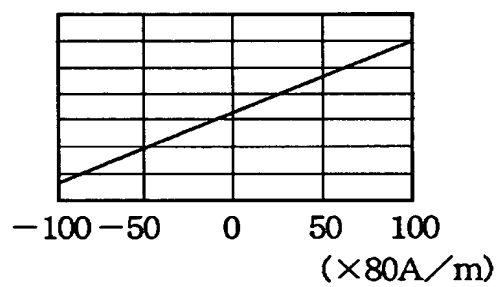
【図 1 9】

図 19



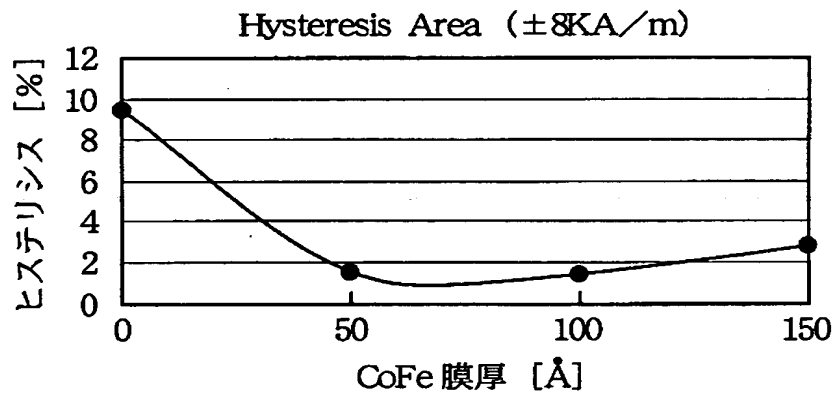
【図 2 0】

図 20



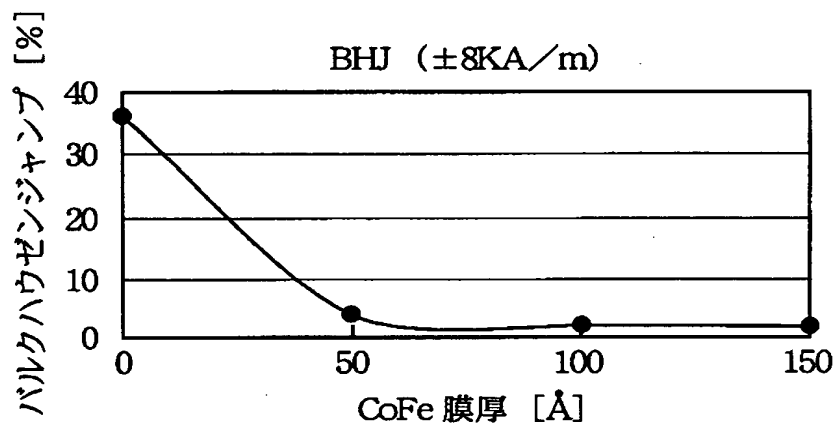
【図 2 1】

図 21



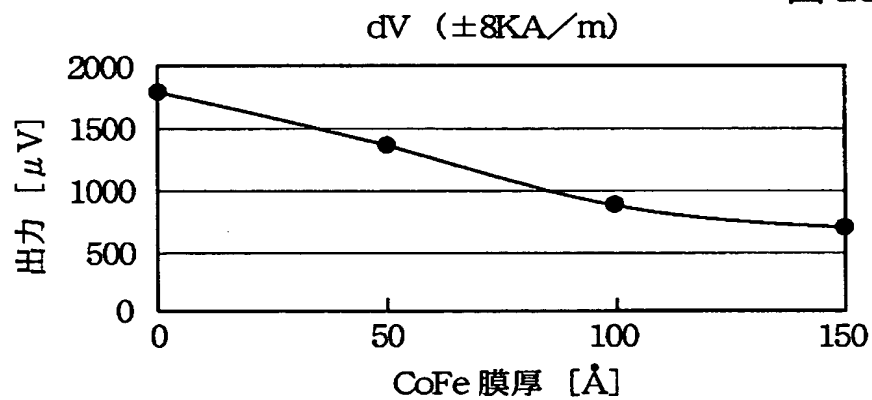
【図 2 2】

図 22

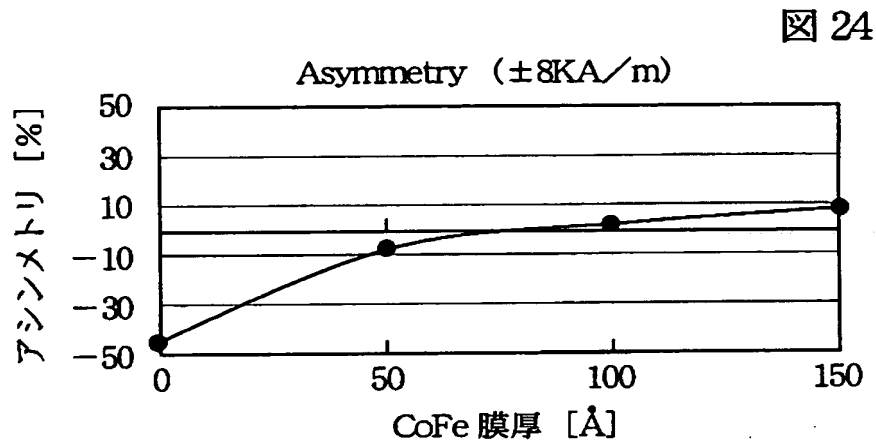


【図 2 3】

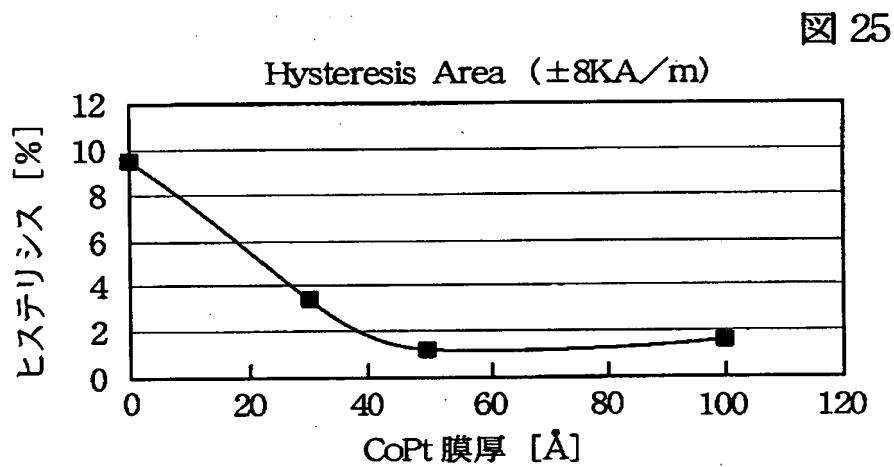
図 23



【図 2 4】

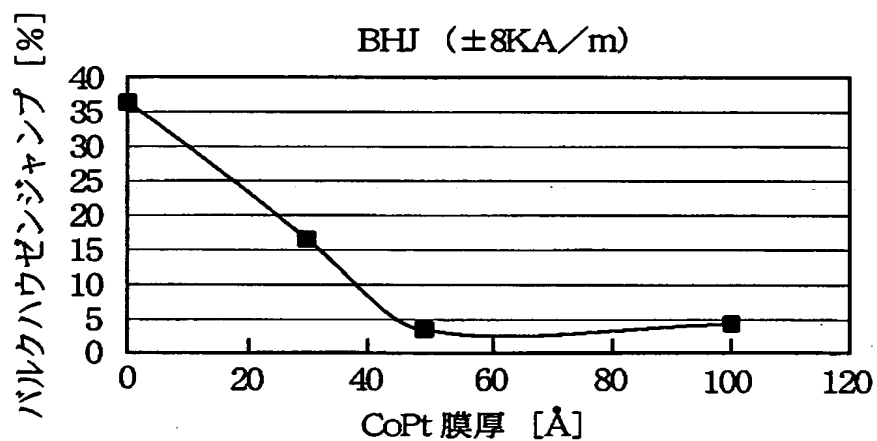


【図 2 5】



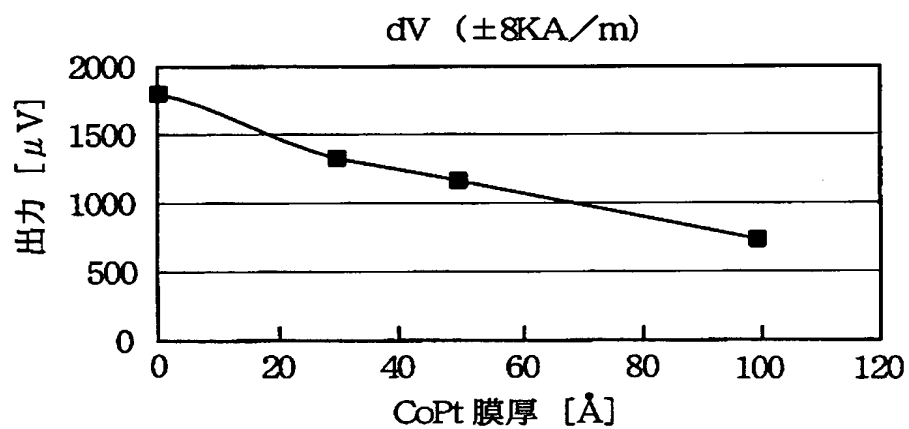
【図 26】

図 26

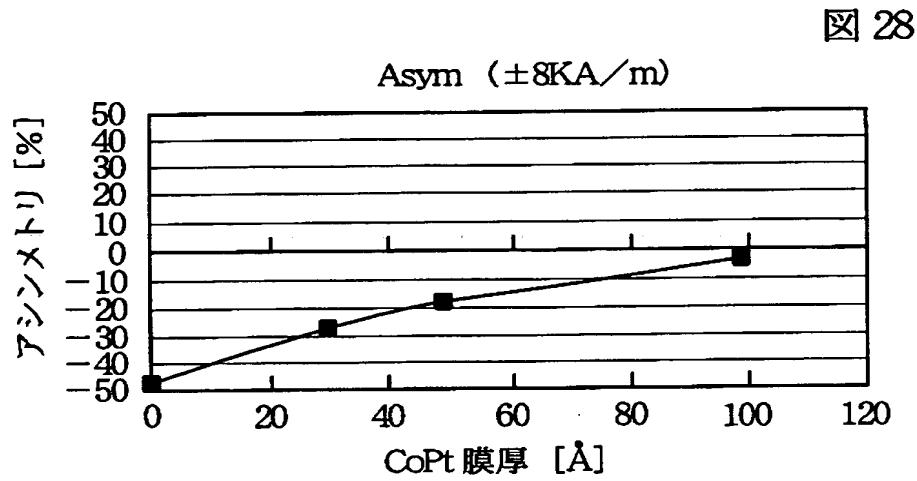


【図 27】

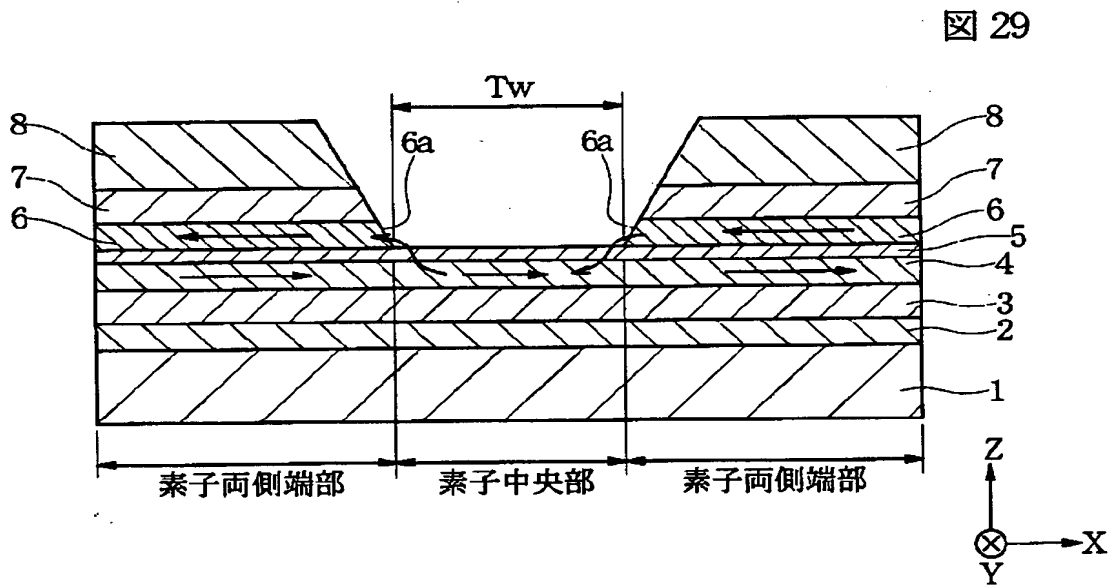
図 27



【図 28】



【図 29】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 特に狭トラック化においてもサイドリーディングの発生を抑えることが可能であって、安定した再生波形を出力できる磁気検出素子及びその製造方法を提供すること目的としている。

【解決手段】 第2反強磁性層31の上に磁化方向が第1強磁性層30の磁化方向に対して反平行方向である第2強磁性層32を積層する。第1強磁性層30の内側端面30aに形成された表面磁荷によって静磁界が発生しても、前記静磁界は第2強磁性層32に吸い込まれる。従って、第1強磁性層30から発生する静磁界が、フリー磁性層28の素子中央部に入りこみにくくなる。その結果、フリー磁性層28の素子中央部は安定した単磁区化状態を維持できるようになり、ヒステリシスを小さくし、バルクハウゼンノイズの発生を抑えることができる。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000010098]

1. 変更年月日 1990年 8月27日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都大田区雪谷大塚町1番7号
氏 名 アルプス電気株式会社